

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**КОНОНЦЕВ СЕРГІЙ ВІКТОРОВИЧ**

УДК 628-35 / 602-44

**БАГАТОСТАДІЙНЕ БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ОБОРОТНОЇ ВОДИ  
ІНДУСТРІАЛЬНИХ РИБНИЦЬКИХ ГОСПОДАРСТВ**

05.17.21 – технологія водоочищення

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

**Київ - 2019**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі екобіотехнології та біоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України

Науковий  
консультант:

доктор технічних наук, професор  
**Саблій Лариса Андріївна,**  
Національний технічний університет України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,  
професор кафедри екобіотехнології та біоенергетики

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Хоружий Петро Данилович,**  
Інститут водних проблем і меліорації Національної  
академії аграрних наук України, головний науковий  
співробітник

доктор біологічних наук, професор  
**Гвоздяк Петро Ілліч,**  
Інститут колоїдної хімії та хімії води  
ім. А. В. Думанського НАН України, головний науковий  
співробітник

доктор технічних наук, професор  
**Мальований Мирослав Степанович,**  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
завідувач кафедри екології та збалансованого  
природокористування

Захист відбудеться «12» червня 2019 р. о 14<sup>00</sup> год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.13 при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, корпус № 4, велика хімічна аудиторія

З дисертацією можна ознайомитись у Науково-технічній бібліотеці ім. Г.І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37)

Автореферат розісланий 6 травня 2019 р.

Учений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 26.002.13 к.т.н., доцент

Т. І. Мотронюк

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Потреба у раціональному використанні водних ресурсів та у розробці більш ефективних методів очищення забрудненої води охоплює більшість галузей народного господарства. Дефіцит води або невідповідність показників її якості внаслідок забруднення зумовлюють обмеження виробничих потужностей підприємств, зниження якості продукції. Особливу актуальність дана проблема має у рибництві, оскільки виробничі процеси вирощування продукції відбуваються безпосередньо у водному середовищі.

Зростання потреби людства у рибницькій продукції на фоні одночасного виснаження природних запасів водою внаслідок різних факторів антропогенного навантаження стало причиною стрімкого розвитку інтенсивних методів вирощування риб у штучно створених умовах. Технології інтенсивного вирощування риби у системах з оборотним водопостачанням є найефективнішими поміж інших напрямків сучасної аквакультури. Згідно досліджень (Danish Aquaculture), при вирощуванні 1 тис. тонн риби у природних умовах використовують 250 тис. м<sup>3</sup> води, при цьому продукція нітрогеновмісних забруднень становить 38 тонн. Прогресивні технології вирощування риб у системах з оборотним водопостачанням (COB) та в установках із замкнутим водопостачанням (УЗВ) за аналогічної виробничої потужності, відповідно, використовують 10 та 1,5 тис. м<sup>3</sup> води й продукують 2 та 0,25 т Нітрогену у вигляді розчинених і нерозчинених забруднюючих речовин. Стійке зростання обсягів продукції рибництва, вирощеної у аквасистемах з рециркуляцією, зумовлює актуальність питання очищення забрудненої води для можливості її повторного використання. Оскільки вартість очищення оборотної води безпосередньо впливає на конкурентоздатність вирощеної продукції, окрім надійності та екологічної чистоти, технологія водоочищення рибницьких господарств має відповідати високим стандартам енергоефективності. Останніми роками ведуться дослідження щодо розробки нових біотехнологій відновлення якості води, що ґрунтуються на концепції інтегрованої мультитрофічної аквакультури (ІМТА). Такі технології дозволяють забезпечити очищення води від залишків кормів і метаболітів одних гідробіонтів з одночасним вирощуванням у субкультурі інших, що здатні використовувати забруднення як поживний субстрат.

Дана робота присвячена науковому обґрунтуванню доцільності включення у процеси біологічного очищення оборотної води гідробіонтів різних трофічних груп, дослідженню процесів очищення води та трансформації основних забруднень визначеними групами очисних агентів, розробці нової технології очищення, встановленню раціональних величин технологічних параметрів очисних процесів і конструкцій очисних споруд для реалізації технології в умовах УЗВ.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертацію виконано на кафедрі екобіотехнології та біоенергетики Національного технічного

університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» в рамках НДР кафедри біотехнології та біоенергетики КПІ імені Ігоря Сікорського: «Отримання енергоносіїв з відходів виробництва біодизельного палива, промислових стоків, мікроводорості *Chlorella vulgaris* та відходів її культивування» (№ державної реєстрації 0115U000399) та «Використання потенціалу гідробіонтів для конверсії біосировини та забруднень стічних вод» (№ державної реєстрації 0117U002389).

**Мета і задачі дослідження.** *Мета* роботи полягає у науковому обґрунтуванні, розробці та впровадженні технології багатостадійного біологічного очищення оборотної води рибницьких господарств індустріального типу з використанням гідробіонтів різних трофічних груп, яка забезпечує глибоке видалення забруднюючих речовин, зниження кількості утворених відходів і зменшення експлуатаційних витрат.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні *задачі*:

- оцінити сучасний стан вирішення проблеми очищення води рибницьких господарств, що працюють як рециркуляційні системи; встановити залежність між процесами годівлі й особливостей метаболізму риб та показниками забруднень оборотної води; визначити основні причини низької ефективності застосування традиційної технології нітри-денітрифікації при очищенні оборотної води УЗВ;

- обґрунтувати сучасні підходи до вдосконалення очисних споруд та інтенсифікації процесів очищення на базі концепції інтегрованої мультитрофічної аквакультури; визначити перспективні для культивування групи очисних агентів з метою видалення розчинених та нерозчинених забруднень;

- запропонувати нові маловитратні та надійні технології очищення забрудненої води рибницьких господарств індустріального типу, розробити конструкції біореакторів для реалізації багатостадійного біологічного очищення оборотної води із залученням у ролі очисних агентів гідробіонтів різних трофічних груп;

- дослідити ефективність процесів видалення сполук Нітрогену та Фосфору з оборотної води у фітореакторі з плаваючими водними рослинами залежно від параметрів освітлення, тривалості контакту, питомої біомаси очисних агентів у споруді;

- встановити ступінь мінералізації нерозчинених забруднень оборотних вод при включенні у біоценоз споруд представників безхребетних, залежність ефектів очищення за БСК<sub>5</sub> та завислими речовинами (ЗР) від гідравлічного навантаження та навантаження за органічною речовиною;

- запропонувати технологічні рішення щодо реконструкції очисних споруд УЗВ з метою реалізації розробленої біотехнології, розробити модифікації схем технологій біологічного очищення, що враховують особливості вирощування основних об'єктів індустріального рибництва;

- обґрунтувати економічну ефективність нової технології та впровадити її в рибницьких господарствах різного профілю, а також на комунальних очисних спорудах.

*Об'єкт досліджень* – процеси біологічного очищення оборотної води рибницьких господарств із замкнутим водопостачанням.

*Предмет досліджень* – наукові засади процесів біологічного очищення оборотної води рибницьких господарств із замкнутим водопостачанням та раціональні величини параметрів.

**Методи дослідження.** Для виконання експериментальної частини роботи використано фотоколориметрію, рН-, окси- та йонометрію (концентрації амонійного Нітрогену, нітритів і нітратів у оборотній воді), оптичну мікроскопію з фото-відео виходом для дослідження мікробіоти біореакторів з волокнистим носієм і похилими полицями, гравіметричний і титрометричний аналізи (оборотної води, осадів, біообростань). Математичну обробку даних здійснено з використанням пакету програм Microsoft Excel.

**Наукова новизна результатів** полягає у розробці наукових засад теорії біологічного очищення води з використанням гідробіонтів різних трофічних груп, встановленні закономірностей процесів видалення та мінералізації забруднюючих речовин у біореакторах з вищими водними рослинами та безхребетними; розробці теоретичних основ інноваційної технології багатостадійного біологічного очищення оборотної води індустріальних рибницьких господарств; обґрунтуванні раціональних величин технологічних параметрів, що дало можливість розробити нові модифікації технології та конструкції очисних споруд.

Уперше:

- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено раціональну послідовність очищення оборотної води, яка передбачає попереднє механічне очищення, видалення розчинених та тонкодисперсних органічних речовин у біореакторах з інертним носієм, у біоценоз якого включені представники червоногих молюсків та вищих ракоподібних, видалення розчинених сполук Нітрогену та Фосфору в біореакторі з рясковими;

- науково обґрунтовано метод очищення оборотної води від сполук Нітрогену та Фосфору в фітореакторі з вищими водними рослинами, які при раціональних величинах параметрів процесу – гідравлічному навантаженні, навантаженні за Нітрогеном, концентрації біомаси, температури, параметрах освітлення та ін., забезпечують ефективне видалення амонійного Нітрогену та фосфатів у процесі прямої асиміляції без утворення проміжних продуктів і трансформацію Нітрогену в доступні рибам білкові сполуки, що дозволяє знизити потребу в комбікормах;

- визначено динаміку зниження концентрації амоній-йону при очищенні оборотної води за допомогою ряски малої та вольфії у фітореакторі, залежність

параметрів росту та швидкості асиміляції амонійного Нітрогену від інтенсивності та тривалості освітлення, на основі чого встановлено концентрації амонійного Нітрогену в очищеній воді 0,1-1 мг/дм<sup>3</sup> залежно від профілю господарства;

- встановлено, що за інтенсивності штучного освітлення в межах 4200-6600 Лк та тривалості світлового дня від 10 до 14 годин представники ряскових при культивуванні у фітореакторі для очищення оборотної води тепловодних УЗВ характеризуються наближеними до максимальних темпами росту та, відповідно, забезпечують видалення сполук Нітрогену та Фосфору з максимальною інтенсивністю;

- доведено високу ефективність очищення оборотної води від розчинених та тонкодисперсних органічних забруднень у аеробному біореакторі з інертним носієм, у біоценоз якого включено червоногих молюсків, внаслідок чого у 2,5-3 рази знижується кількість утворених відходів одночасно із зростанням їх зольності до 45-60% та покращенням седиментаційних властивостей;

- встановлено, що при величинах гідравлічного навантаження на біореактор з інертним носієм у межах 2-5 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·год) завдяки включенню в його біоценоз червоногих молюсків очисна потужність споруди збільшується на 40-100 гБСК<sub>5</sub>/(м<sup>3</sup>·год), причому ефект очищення за БСК<sub>5</sub> залежно від навантаження за органічною речовиною та гідравлічного навантаження становить 80-95%;

- запропоновано та обґрунтовано нові підходи до попереднього механічного очищення оборотної води УЗВ – доцільність розділення потоків на висококонцентровану мулово-фекальну суміш і освітлену воду з метою підвищення ефективності видалення органічних речовин, зменшення об'ємів утворених у процесі очищення оборотної води відходів;

- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність мінералізації видалених із оборотної води грубодисперсних забруднень у затопленому біофільтрі з представниками олігохет, що дозволяє знижувати обсяги утворених відходів та підвищує ступінь їх мінералізації;

- встановлено технологічні параметри очисних споруд, у біоценоз яких включено представників червоногих молюсків, олігохет та вищих ракоподібних, при яких показники БСК<sub>5</sub> та ХСК очищеної оборотної води не перевищують, відповідно, 10 та 35 мг/дм<sup>3</sup> і дозволяють використовувати її повторно на виробництві.

Набули подальшого розвитку:

- концепція інтегрованої мультитрофічної аквакультури (ІМТА), реалізація якої в умовах очищення забрудненої оборотної води УЗВ дозволяє знизити кількості утворених відходів та забезпечити економію на рибницьких кормах;

- принцип біоконвеєра для біологічного очищення оборотної води УЗВ від забруднюючих речовин, на основі якого розроблено інноваційну технологію

біологічного очищення води і конструкції біореакторів для її реалізації в межах рибницьких господарств з оборотним водопостачанням.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у вирішенні важливої народногосподарської проблеми підвищення ефективності біологічного очищення оборотної води рибницьких господарств індустріального типу шляхом розробки та впровадження у виробництво багатостадійної технології біологічного очищення. Одержано такі практичні результати:

- запропоновано інноваційну технологію багатостадійного біологічного очищення оборотної води рибницьких господарств індустріального типу;

- розроблено технологічні рішення щодо послідовної обробки оборотної води в аеробних та аноксидних умовах перед подачею її у стави з вищими водними рослинами (патент України на корисну модель № 102108) та забезпечення одночасної подачі забрудненої води та підживлювальних розчинів у систему аквапоніки;

- розроблено конструкції споруд біологічного очищення, які дозволяють ефективно культивувати в них визначені в якості очисних агентів види гідробіонтів (патент України на корисну модель № 105121) та забезпечувати сукцесію очисних агентів в межах однієї споруди (патент України на корисну модель № 118778);

- розроблено спосіб трансформації нерозчинених органічних забруднень рибницьких господарств з використанням червоногих моллюсків (патент України на корисну модель № 120662);

- запропоновано методики розрахунку очисних споруд: фітореакторів, біореакторів з детритофагами (моллюсками та водними олігохетами), біореакторів з вищими ракоподібними;

- розроблену технологію впроваджено на 4-х рибницьких господарствах із замкнутим циклом водопостачання; окремі технологічні рішення впроваджено в проектах реконструкції і будівництва каналізаційних очисних споруд м. Дубно, смт Смига Рівненської обл., смт Шацьк, баз відпочинку оз. Світязь і с. Світязь Волинської обл., що підтверджено відповідними актами впровадження;

- впровадження розробленої технології забезпечує підвищення ефективності вилучення розчинених забруднень – сполук Нітрогену та Фосфору при одночасному зниженні витрат на очищення води за рахунок економії електроенергії на аерацію та перекачування води, відсутності витрат на реагенти, які необхідні для забезпечення денітрифікації та регулювання рН після біофільтра-нітрифікатора. Новітня технологія забезпечує зниження об'ємів відходів у 2,5-3 рази, порівняно з класичною, при одночасному зростанні зольності осадів з 8-10% до 50-60%;

- ефективна конверсія сполук Нітрогену та Фосфору, що складають основну частку забруднень оборотної води, у біомасу кормових організмів дозволяє знизити

потребу у комбікормах на 15-20% та, відповідно, знизити собівартість вирощеної продукції на 10-12%.

Результати досліджень використано при розробці підручника для студентів спеціальності «Біотехнології та біоінженерія», спеціалізації «Екологічна біотехнологія та біоенергетика», «Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці» та впроваджено в навчальний процес на кафедрі екобіотехнології та біоенергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського (курси «Біотехнології очищення води», «Гідробіологічні процеси у водних екосистемах»).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є завершеною науковою працею автора. Основні наукові ідеї, результати теоретичних та експериментальних досліджень розроблені і сформульовані автором особисто. Автором визначено напрямки, розроблено методологію, програми і методи дослідження; здійснено вибір об'єктів досліджень. Дослідження процесів очищення оборотної води УЗВ від основних забруднень у біореакторах з визначеними групами очисних агентів проведено автором особисто. Здобувачем розроблено конструкції біореакторів для реалізації запропонованої технології, визначено режими їх роботи. Здобувачеві належать основні ідеї отриманих патентів. Особистий внесок автора у статтях, опублікованих у співавторстві, полягає у формуванні робочої гіпотези, аналізі джерел літератури за тематикою публікацій, проведенні експериментальних досліджень, виконанні їх обробки, техніко-економічних розрахунків, узагальненні отриманих результатів.

Дослідження процесів культивування представників вищих водних рослин в умовах очисних споруд УЗВ, визначення окремих видів гідробіонтів проведено спільно з професором кафедри водних біоресурсів Національного університету водного господарства та природокористування, д.с-г.н. Гроховською Ю.Р.

Дослідження ефективності застосування аераційної системи ежекторного типу в умовах очисних споруд рибницького комплексу з рециркуляцією води проведено спільно з колективом працівників кафедри екобіотехнології та біоенергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського (д.т.н., проф. Саблій Л.А., асп. Коренчук М.С.) та співробітників Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України д.т.н. Ободовичем О.М., к.т.н. Сидоренком В.В.

Розробку шляхів біотрансформації фосфор- та нітрогеновмісних відходів рибницьких господарств проведено у співавторстві з д.с-г.н., професором Пилипенком Ю.В., світла пам'ять про якого залишиться у серцях багатьох колег, однодумців, учнів та близьких.

Автор висловлює вдячність науковому консультанту д.т.н., професору Саблій Л.А. за професійну допомогу на всіх етапах виконання дисертації.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційного дослідження оприлюднено й обговорено на наукових форумах – міжнародних, всеукраїнських і



регіональних з'їздах, конференціях, семінарах, круглих столах. Основні з них: наукова конференція «Шляхи збереження і відновлення рибництва та водних екосистем у Поліському регіоні» (Рівне, 2011), семінар з основ охорони та відтворення іхтіофауни Рівненської області (Рівне, 2011), семінар «Охорона та раціональне використання водних біоресурсів Рівненщини» (Рівне, 2013), V-й Міжнародний екологічний форум «Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета» (Херсон, 2013), II, III Міжнародні науково-практичні конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (Київ, 2014-2016), Международный научно-практический семинар по индустриальной аквакультуре «Инновационные технологии рыбоводства в рециркуляционных системах» (Беларусь, Горки, 2015), Міжнародний конгрес та технічна виставка «ЕТЕВК-2015. Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація» (Іллічівськ, 2015), VIII Міжнародна іхтіологічна науково-практична конференція «Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології» (Херсон, 2015), Всеукраїнська науково-практична конференція за міжнародною участю «Екологічні проблеми природокористування та охорона навколишнього середовища» (Рівне, 2015), II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Ресурсозбереження та енергоефективність інженерної інфраструктури урбанізованих територій та промислових підприємств» (Харків, 2016), Всеукраїнська науково-практична конференція, присвячена Всесвітньому дню води, «Вода і робочі місця» (Київ, 2016), Круглий стіл «Проблеми та перспективи іхтіологічних досліджень в рамках розвитку Смарагдової мережі» (Київ, 2016), Науково-практична конференція з міжнародною участю «Вода: проблеми та шляхи вирішення» (Рівне, 2016), Всеукраїнська науково-практична конференція «Сталий розвиток країни в рамках європейської інтеграції» (Житомир, 2016), VIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Біологічні дослідження – 2017» (Житомир, 2017), науково-практична конференція «Меліорація та водовикористання», (Мелітополь, 2017), науково-практична конференція з міжнародною участю «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки», КНУБА (Київ, 2016-2017), 2-га Міжнародна науково-практична конференція «Recirculating Aquaculture Systems (RAS): Life Science and Technologies», (Латвія, м. Даугавпілс, 2017) та ін.

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 67 наукових роботах, в тому числі 2 монографії; 23 статті у провідних фахових виданнях, з яких – 5 у виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 1 – у іноземному науковому журналі; 4 патенти України на корисну модель; 16 тез доповідей; 18 статей в інших наукових виданнях; 4 навчальні видання у співавторстві.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, списку використаних джерел та додатків. Матеріали дисертації

викладено на 352 сторінках друкованого тексту, у т.ч. основний текст – на 275 сторінках. Дисертацію ілюстровано 35 таблицями, 40 рисунками. Список джерел літератури включає 344 найменувань, у т.ч. – 221 латиницею.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання досліджень, вказано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** викладено умови формування забруднених вод рибницьких господарств індустріального типу, наведено результати критичного аналізу існуючих технологій очищення, на основі яких обґрунтовано необхідність пошуку альтернативних шляхів видалення з води основних забруднень для можливості її повторного використання.

Вагомий внесок у дослідження характеристик забрудненої оборотної води та процесів її очищення зробили J.P. Blancheton, S. Chen, D.E. Coffin, J.M. Ebeling, E.H. Eding, N. Léonard, R.F. Malone, C.I.M. Martins, L. Michaud, A. Neori, R.H. Piedrahita, J. van Rijn, H.J. Schreier, Y. Tal, M.B. Timmons та інші. На основі їх розробок було визначено особливості кількісного та якісного складу забруднень води рибницьких господарств індустріального типу; детально досліджено ефективність роботи споруд біологічного очищення УЗВ та СОВ. Оскільки основними забрудненнями оборотної води рибницьких господарств є продукти метаболізму риб, головним завданням блоку відновлення якості води є видалення розчинених сполук Нітрогену та Фосфору, очищення від органічних забруднень. Проблема видалення сполук Нітрогену та Фосфору є характерною для більшості типів стічних вод, тому в роботі проаналізовано також вагомий внесок у дослідження процесів очищення господарсько-побутових та промислових стоків від даних забруднень вітчизняних та закордонних науковців – Базякіної Н.А., Гвоздяка П.І., Гіроля М.М., Кулікова М.І., Мальованого М.С., Мацнєва А.І., Мешкової-Клименко Н.А., Мішукова Б.Г., Саблій Л.А., Таварткіладзе І.М., Яковлєва С.В., Henze M., Lettinga G. та інших.

Потреба у впровадженні вискоєфективної та екологічно чистої технології очищення оборотної води рибницьких господарств індустріального типу пов'язана з екологічними вимогами, технологічними параметрами вирощування риб у замкнутому контурі водопостачання, а також з економічними факторами, що стимулюють вирощування конкурентоздатної продукції аквакультури.

Реалізація технології нітри-денітрифікації при очищенні забрудненої води УЗВ супроводжується рядом характерних проблем, причини виникнення яких пов'язані із особливостями якісних і кількісних показників забруднень та конкурентними взаємовідносинами між окремими групами мікробіоти біореакторів. Так, більшістю

дослідників (N. Léonard, 2000; J.P. Blancheton, 2002; L. Michaud, 2006 та ін.) зазначено, що через високе співвідношення C/N у забрудненій воді в біофільтрах відбувається інтенсивний розвиток гетеротрофної мікробіоти з одночасним пригніченням нітробактерій. Відповідно, інтенсивність процесів нітрифікації суттєво знижується. Натомість, внаслідок метаболізму гетеротрофної мікробіоти спостерігається процес амоніфікації, що спричинює додаткове підвищення концентрації амоній-йонів у забрудненій воді. Системні проблеми споруд з денітрифікації у досліджуваних господарствах пов'язані як із нестабільною роботою біофільтрів-нітрифікаторів, внаслідок чого спостерігають коливання співвідношення у воді окремих форм Нітрогену, так і з необхідністю підтримки рН у заданому діапазоні.

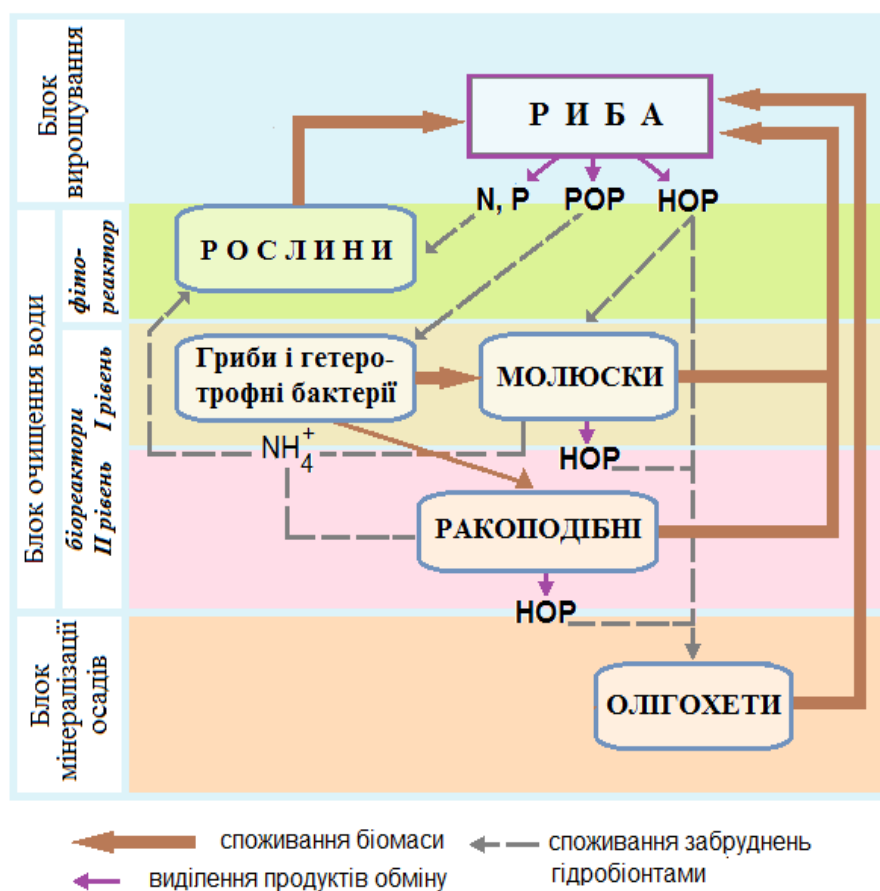
В ході аналізу кількісних та якісних показників забруднень оборотної води вітчизняних УЗВ виявлено суттєві відмінності у концентраціях завислих речовин та значеннях БСК<sub>5</sub>, ХСК, що пов'язано із годівлею риб менш якісними комбікормами українських виробників. Даний факт зумовлює потребу в пропорційному збільшенні очисної потужності блоку очищення води, що, у свою чергу, відобразиться на економічних показниках виробництва продукції рибництва. Проблемні аспекти реалізації нітри-денітрифікації в умовах УЗВ стали поштовхом до пошуку більш ефективних і раціональних методів водоочищення у даній галузі. У дисертаційній роботі здійснено аналіз таких сучасних концепцій і підходів щодо розробки технології багатостадійного біологічного очищення забрудненої води, як принцип біоконвеєра, запропонований Гвоздяком П.І., та концепції інтегрованої мультитрофічної аквакультури, розробленої європейськими науковцями. Сформульовано завдання дисертаційної роботи.

У **розділі 2** наведено характеристику експериментальних і виробничих установок, основні методи і методики досліджень. Експериментальні дослідження було проведено у виробничих умовах діючих господарств, що працюють за технологією УЗВ. Для проведення досліджень у статичних умовах використовували забруднену воду даних господарств, а також акваріумного господарства кафедри водних біоресурсів НУВГП.

Процеси видалення сполук Нітрогену та Фосфору досліджували у статичних умовах на зразках забрудненої води в фітореакторі з рясковими для очищення води господарств з вирощування кларієвого сома, стерляді та тиляпії. Показники БСК<sub>5</sub>, БСК<sub>повн</sub> та ХСК оборотної води, вологість та зольність утворених у біореакторах осадів визначено згідно стандартних методик в акредитованій гідрохімічній лабораторії кафедри водовідведення та бурової справи НУВГП. Вміст сполук Нітрогену визначено за допомогою йонміру лабораторного И-160-М з йонселективними плівковими електродами ЭЛИС-121 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, ЭЛИС-121 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> та ЭЛИС-121 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>. Для визначення інтенсивності освітлення водної поверхні

фітореактора використано люксметр Ю116. Десапробізаційний потенціал молюсків та вищих ракоподібних досліджували в умовах непроточних акваріумів, після чого в умовах біореакторів із волокнистим носієм типу «Вія» визначали ефекти видалення завислих речовин та зольність утворених твердих відходів. Оцінку репродуктивного потенціалу ряскових у різних умовах було здійснено за методикою (Арсан та ін. Методи гідроекологічних досліджень..., 2006). Процеси біологічного очищення оборотної води УЗВ з використанням гідробіонтів різних трофічних груп досліджували у комплексі очисних споруд: фітореакторі з рясковими, біофільтрі із сипучим завантаженням, біореакторі з волокнистим носієм «Вія», біореакторі з похилими полицями. Дослідження мікробіоценозів очисних споруд здійснювали методом оптичного мікроскопування у лабораторії кафедри екобіотехнології та біоенергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського.

У розділі 3 розроблено механізми процесів очищення оборотної води рибацьких господарств у біореакторах, де відбувається багатостадійне видалення основних забруднень визначеними групами очисних агентів. Просторову сукцесію основних груп гідробіонтів, які залучені до очищення оборотної води, представлено на рис.1.



Розроблено шляхи біотрансформації трьох основних блоків забруднень: амонійного Нітрогену та фосфатів (N, P), розчинених органічних речовин (ROP) та нерозчинених органічних речовин (НОР). З метою підвищення ефективності очищення оборотної води запропоновано розділення процесів очищення води у ланцюжку біореакторів, що дозволяє забезпечувати раціональні величини параметрів у кожній споруді та культивувати специфічний до певних сполук біоценоз очисних агентів.

Рис. 1. Просторова сукцесія очисних агентів в межах споруд біологічного очищення води

У роботі обґрунтовано залучення до процесів деструкції нерозчинених органічних речовин молюсків, вищих ракоподібних і червів, які мають високу кормову цінність для рибицтва. Для оцінки очисного потенціалу черевоногих молюсків було проведено дослідження динаміки росту фізи пухирчастої (*Physa fontinalis*) (рис. 2). В ході досліджень виявлено, що при культивуванні фізи в очисних спорудах тепловодних УЗВ швидкість росту молюсків буде близькою до максимальної. Так, при культивуванні за температури води від 24 до 26 °С час подвоєння біомаси молюсків становив 10-11,3 діб, тоді як при утриманні їх у температурному режимі близько 18 °С час подвоєння біомаси складав 14 діб. Результатом підвищення ступеня мінералізації детриту молюсками стало зростання зольності утворених відходів від характерних для детриту та мулу 10-12% до 50-70%.

Відповідно до величин фізико-хімічних показників оборотної води, кількісного та якісного складу забруднень обґрунтовано доцільність використання для процесів очищення оборотної води УЗВ від сполук Нітрогену та Фосфору плаваючих водних рослин – представників родини Ароїдних підродини Ряскових. При дослідженні можливості культивування (*Wolffia arrhiza* (L.) Horkel ex Wimm, 1857; *Lemna minor* Linnaeus, 1753; *L. trisulca* (L.), *Spirodela polyrrhiza* (L.) Schleiden, 1839;) в штучно створених умовах з метою вилучення сполук Нітрогену та Фосфору з оборотної води УЗВ було визначено найбільш пристосовані до характеристик забрудненої води види – вольфія та ряска мала. Зафіксовано зниження концентрації амоній-йону у ємностях з рослинами порівняно з пробами води без рослин (в умовах з барботажною аерацією та без неї), підтверджено стійкість ряскових до порівняно високих концентрацій амонійного Нітрогену у воді (рис. 3).

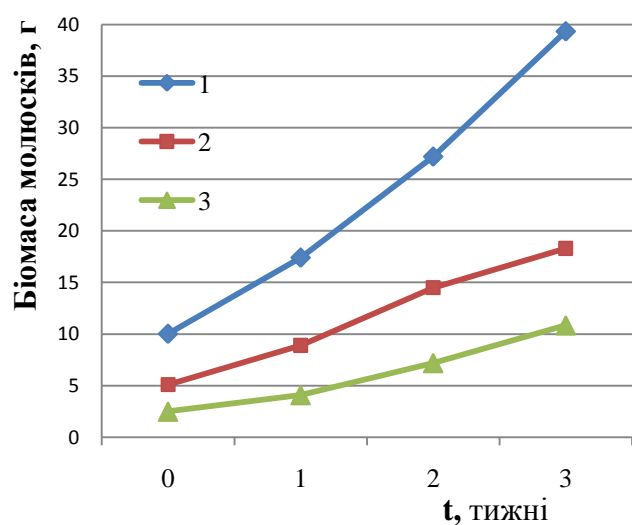


Рис. 2. Динаміка росту *Physa fontinalis* при температурі води 24-26 °С: 1, 2, 3 – дослідні групи молюсків із загальною біомасою (г): 10, 5 та 2,5 відповідно

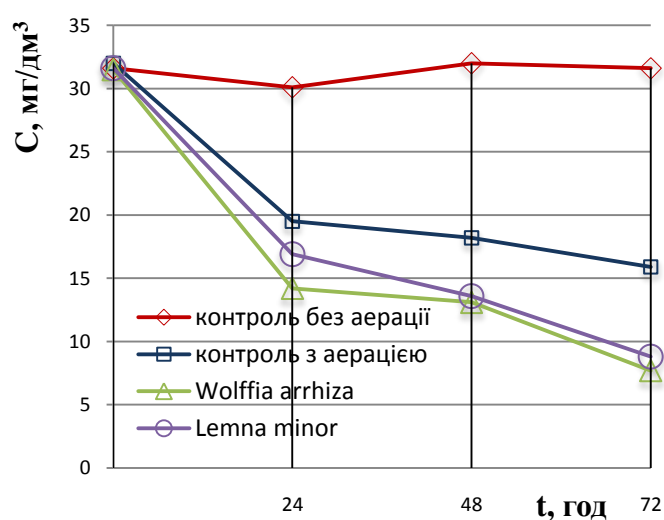


Рис. 3. Залежність концентрації амонійного Нітрогену (C) від тривалості контакту з рослинами (t)

Досліджено швидкість асиміляції амонійного Нітрогену та нітратів у фітореакторі з найбільш перспективними до культивування рослинами – ряскою малою та вольфією в умовах мінімальних і максимальних концентрацій  $\text{NH}_4^+$  у забрудненій оборотній воді УЗВ (рис. 4 та рис. 5).

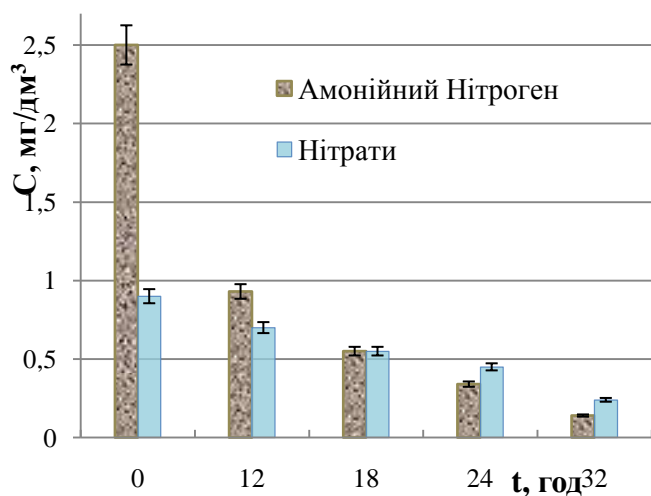


Рис. 4. Залежність концентрації форм Нітрогену (C) від тривалості обробки у фітореакторі з ряскою малою

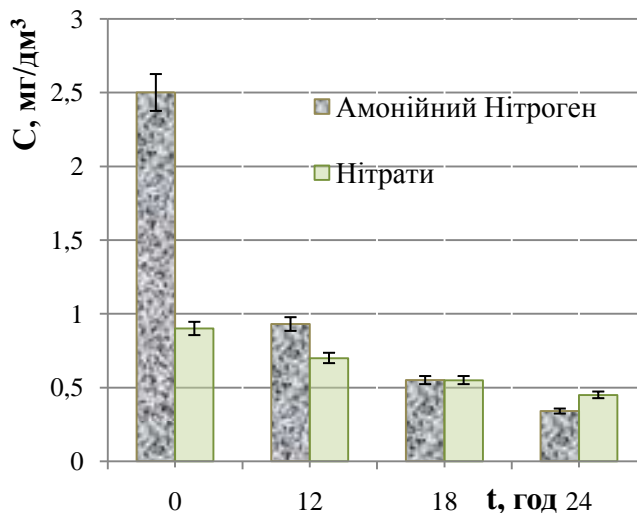


Рис. 5. Залежність концентрації форм Нітрогену (C) від тривалості обробки у фітореакторі з вольфією

У процесі дослідження асиміляційного потенціалу ряски малої та вольфії було встановлено, що вони володіють приблизно рівними темпами росту та інтенсивністю вилучення основних біогенних елементів, що відображується також у часі подвоєння біомаси рослин. В умовах проточного фітореактора для обох видів цей час становив 2-3,5 діб (рис. 6). Водночас, низький ступінь видалення нітратів водними рослинами (рис. 7) ставить під сумнів доцільність влаштування фітореактора після біофільтра-нітрифікатора.

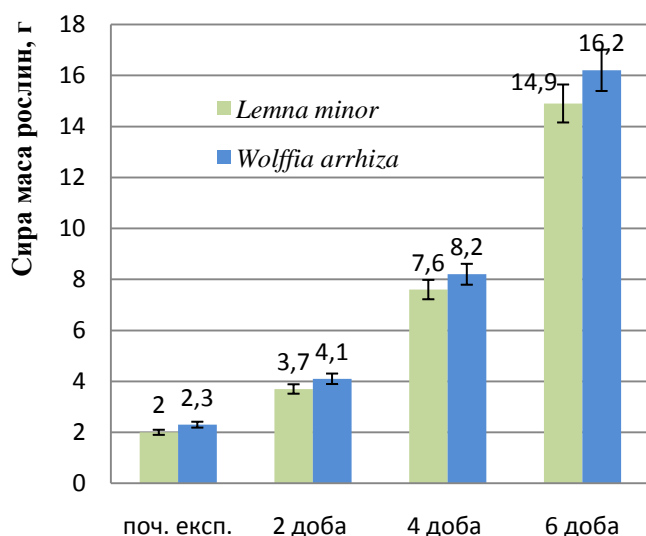


Рис. 6. Динаміка росту ряскових в умовах фітореактора

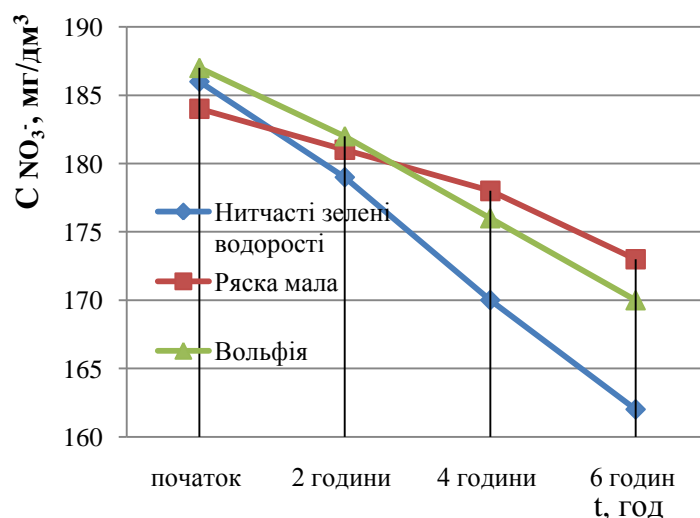


Рис. 7. Залежність концентрації нітратів ( $\text{CNO}_3^-$ ) від тривалості контакту (t)

У четвертому розділі представлено результати досліджень ефективності видалення основних забруднень у біореакторах багаторічної технології очищення оборотної води УЗВ та визначено раціональні величини параметрів роботи споруд. Процеси очищення води від основних груп забруднень відбуваються у послідовності, зображеній на рис. 8.



Рис. 8. Принципова схема багаторічної технології біологічного очищення оборотної води

Оскільки в ході аналізу джерел літератури і результатів власних досліджень було встановлено, що кількісний та якісний склад забруднень оборотної води дозволяє інтенсивно розвиватись у ній представникам ряскових, задачею досліджень було визначення раціональних величин параметрів освітлення для досягнення необхідного ефекту очищення за амонійним Нітрогеном та фосфатами. Досліджено залежність темпів росту рослин у фітореакторі від тривалості світлового періоду (рис. 9) при забезпеченні інтенсивності освітлення в межах рекомендованих (Mkandawire, 2007) діапазонів. У процесі росту рослини асимілюють з води й інші макроелементи, тому очевидним є те, що при очищенні оборотної води УЗВ буде відбуватись одночасне зниження концентрації фосфатів. У ході досліджень було встановлено, що порівняно з нитчастими водоростями ряска володіє дещо нижчими темпами асиміляції фосфатів (рис.10). Але через дефіцит у воді Фосфору після його повної асиміляції водоростями можна очікувати припинення їх росту та, відповідно, асиміляції з води сполук Нітрогену.



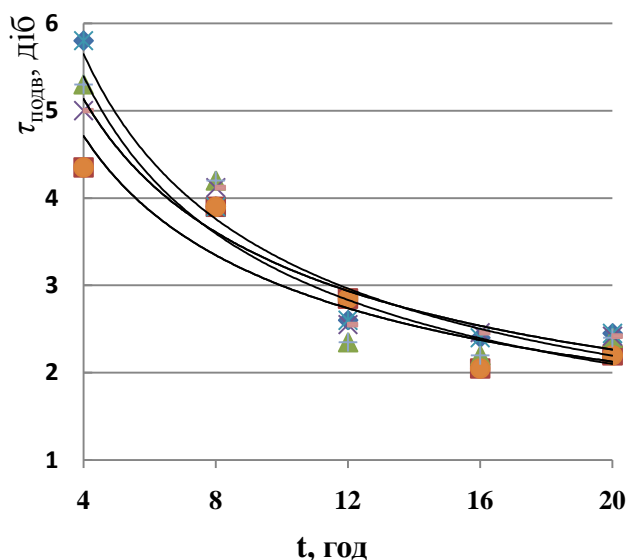


Рис. 9. Залежність часу подвоєння біомаси ряскових ( $\tau_{\text{подв}}$ ) від тривалості освітлення ( $t$ )

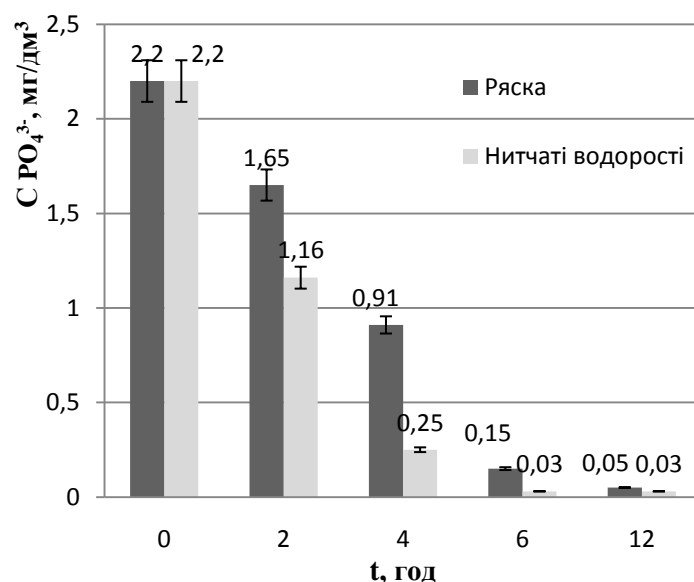


Рис. 10. Залежність концентрації фосфатів ( $\text{CPO}_4^{3-}$ ) від тривалості контакту з рослинами ( $t$ )

Для дослідження впливу інтенсивності штучного освітлення на ефективність роботи фітореактора було визначено асиміляційну потужність ряски малої за сполуками Нітрогену в умовах різної інтенсивності освітлення (рис. 11). Дослідження очисної потужності фітореактора від величини параметрів освітлення проводили при характерних величинах параметрів оборотної води тепловодних УЗВ. Температуру в фітореакторі підтримували в межах 25-26 °С, концентрація амонійного Нітрогену на початку експерименту становила 8 мг/дм<sup>3</sup>, нітратів – 2,5 мг/дм<sup>3</sup>, фосфатів – 1,4 мг/дм<sup>3</sup>. Інтенсивність освітлення змінювали шляхом комбінування кількості люмінесцентних ламп у системі освітлення та зміною відстані світильника від поверхні фітореактора. Асиміляційну потужність ряски було перераховано відповідно до кількості вилученого з води Нітрогену (у формі амоній-йону) та Фосфору (фосфатів) рослинами із сировою масою 100 г, які було поміщено у фітореактор. При інтенсивному зростанні рослин, що характеризується часом подвоєння біомаси в межах двох-трьох діб, за добу 1 кг сирової маси ряскових вилучає з води у середньому 2,4 г Нітрогену, що відповідає 3,1 г амоній-йону. Очисну потужність фітореактора з рясковими за амонійним Нітрогеном визначають, виходячи з асиміляційної потужності ряски за даним забрудненням в умовах очищення оборотної води УЗВ, приведеної до 1 кг сирової маси. Для розрахунку необхідної площі фітореактора та можливості ефективного регулювання його очисної потужності побудовано графіки (рис. 12), що відображають залежність очисної потужності споруди від тривалості та інтенсивності освітлення. Розрахункові значення очисної потужності за амонійним Нітрогеном приведено за умови розміщення на площі споруди в 1м<sup>2</sup> від 4 до 6 кілограмів сирової маси ряскових.



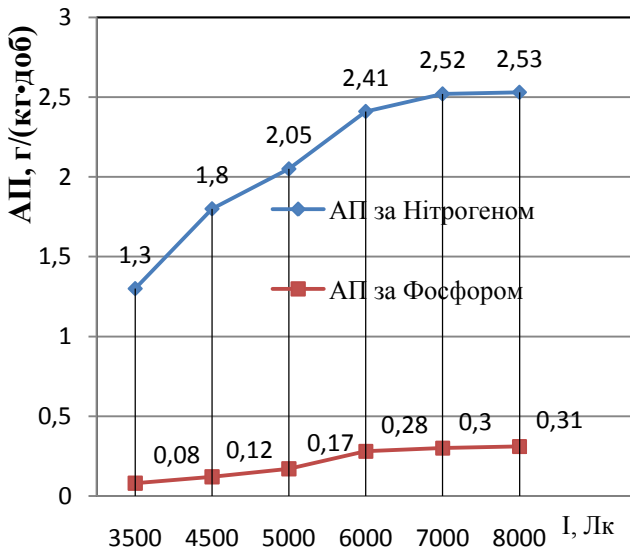


Рис. 11. Залежність асиміляційного потенціалу ряски малої (АП) від інтенсивності освітлення (I) при очищенні оборотної води

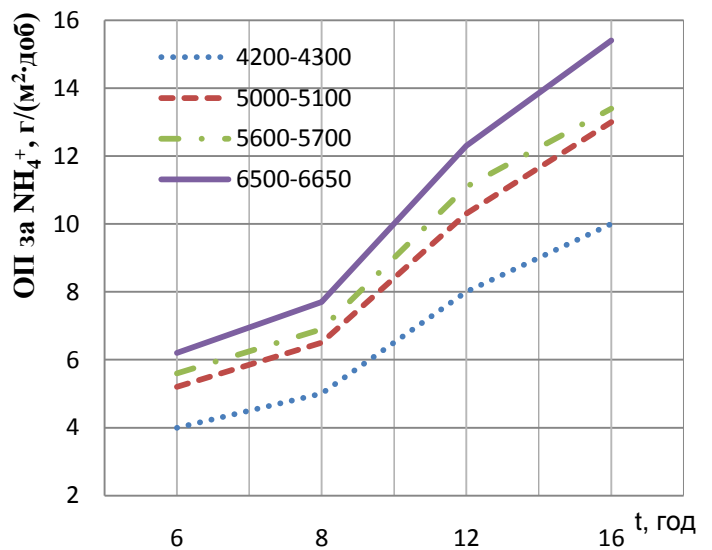


Рис. 12. Залежність очисної потужності (ОП) фітореактора з рясковими від тривалості світлового періоду (t) при інтенсивності освітлення 4200-6650 Лк

Розрахунок фітореактора для очищення оборотної води УЗВ здійснюється на основі необхідної біомаси ряскових для асиміляції сполук Нітрогену. Залежність темпів росту ряскових у фітореакторі від основних абіотичних факторів описано рівнянням:

$$\mu_l = \mu_{\max} \cdot \exp\left(-2,3 \left(\frac{T_{\text{opt}} - T}{T_{\text{opt}} - T_{\min}}\right)^2\right) \cdot A_I \cdot \frac{I_z}{I_{\text{opt}}} \cdot \exp\left(1 - \frac{I_z}{I_{\text{opt}}}\right) \cdot \frac{h_z}{h_{\text{opt}}}, \quad (1)$$

де  $\mu_l$  – питома швидкість росту ряскових,  $\text{доб}^{-1}$ ;

$\mu_{\max}$  – максимальна питома швидкість росту, при культивуванні ряски малої в умовах УЗВ отримано  $\mu_{\max} \approx 0,693 \text{ доб}^{-1}$ );  $\text{доб}^{-1}$ ;

$T_{\text{opt}}$ ,  $T_{\min}$ ,  $T$  – відповідно температурний оптимум для даного виду; мінімальна температура, за якої вид здатний розвиватись; температура середовища,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$A_I$  – коефіцієнт, що враховує особливості спектру джерела освітлення та відповідність довжини хвилі сприятливому діапазону для даного виду;

$I_z$  – величина інтенсивності освітлення поверхні, Лк;

$I_{\text{opt}}$  – значення інтенсивності, при якому рослина має найвищі темпи росту, Лк;

$h_{\text{opt}}$  – період освітлення, при якому рослина має найвищі темпи росту,  $\text{год/доб}$ ;

$h_z$  – тривалість періоду освітлення фітореактора,  $\text{год/доб}$ .

Динаміка видалення амонійного Нітрогену з оборотної води буде визначатись загальною біомасою рослин, що беруть участь в очищенні води, та темпами їх росту:

$$Uptake_{NH4} = \mu_l \cdot P_l \cdot \gamma_N / 0,78, \quad (2)$$

де  $Uptake_{NH4}$  – маса амонійного Нітрогену, що видаляється рясковими за добу, г;

$P_l$  – біомаса рослин у фітореакторі, кг;

$\gamma_N$  – вміст Нітрогену у сирій масі ряскових, г/кг, (прийнято рівною 4,8 г/кг).

Маса амонійного Нітрогену, яку мають асимілювати рослини, залежить від коефіцієнту рециркуляції в господарстві, якості та кількості згодованого корму. При використанні кормів провідних європейських виробників в УЗВ з коефіцієнтом рециркуляції  $K_{circ}=0,9$  отримано:

$$Uptake_{NH4} = Load_{NH4} (1 - K_{circ}) = 0,033F, \quad (3)$$

де  $Load_{NH4}$  – маса амонійного Нітрогену, виділеного рибами у процесі метаболізму протягом доби, г;

$F$  – маса корму, внесеного у басейни протягом доби, кг;

0,033 – емпіричний коефіцієнт.

На основі аналізу впливу абіотичних факторів на темпи росту ряскових отримано взаємозв'язок між необхідною біомасою ряскових та кількістю згодованих кормів визначатиметься залежністю:

$$P_l = 16,42 \cdot F \left( \frac{h_{opt}}{h_z} \right), \quad (4)$$

де  $P_l$  – біомаса рослин у фітореакторі, кг.

Рівняння (4) дозволяє здійснити розрахунок необхідної біомаси ряскових у фітореакторі залежно від кількості внесеного у систему корму та режиму освітлення споруди.

Для забезпечення більш ефективного використання наявних площ під споруди очищення оборотної води розроблено конструкцію двохсекційного біореактора, верхня частина якого пристосована для культивування плаваючих водних рослин, а нижня – для іммобілізації черевонігих молюсків (рис. 13). Додаткова аерація біореактора з волокнистим носієм забезпечується шляхом подачі через трубопровід (8) підживлювальної води, насиченої киснем у аераторі роторного типу.

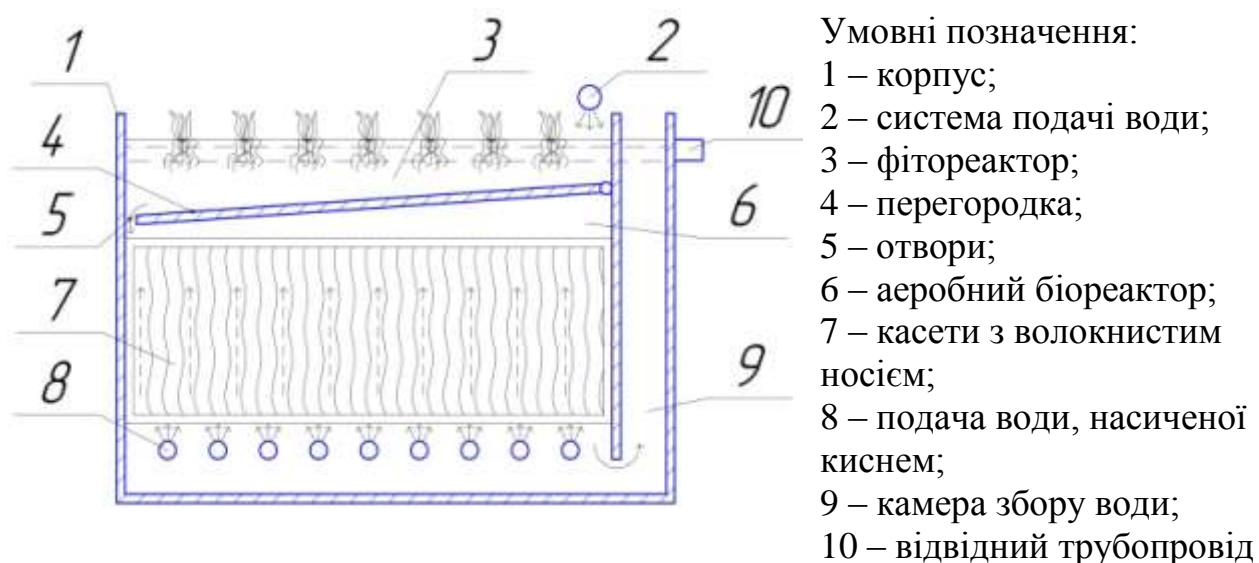


Рис. 13. Конструкція комбінованого біореактора

Підтверджено, що за рахунок фотосинтетичної активності рослин відбувається зростання концентрацій кисню до 5,6-8 мг/дм<sup>3</sup> залежно від параметрів води, що подається на очищення (рис. 14).

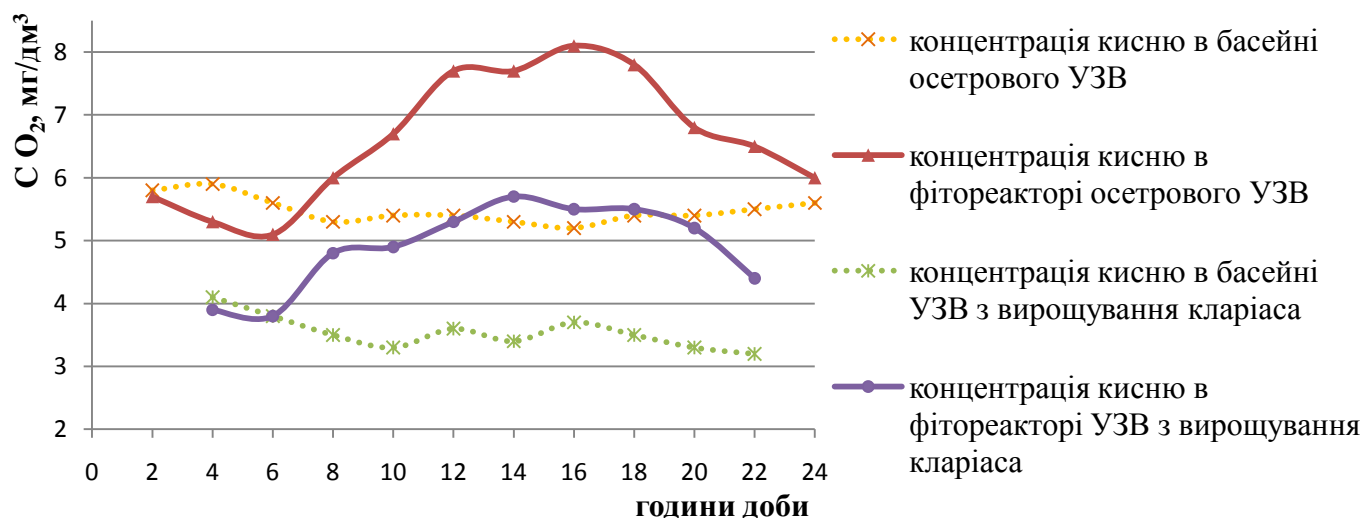


Рис. 14. Динаміка концентрації кисню ( $\text{CO}_2$ ) у воді протягом доби у басейнах та фітореакторі господарств з вирощування стерляді та кларієвого сома

У виробничих умовах досліджено раціональні величини параметрів процесів очищення води від розчинених та дрібнодисперсних органічних забруднень у біореакторі з волокнистим носієм типу «Вія», у біоценоз якого включено представників черевоногих молюсків – катушок та фіз. Концентрація біомаси гетеротрофної аеробної мікробіоти при очищенні оборотної води господарства з вирощування кларієвого сома становила 12-18 г/дм<sup>3</sup>. Після формування обростань на поверхні носія та заселення біореактора черевоногими молюсками у кількості, що відповідала прогнозованому обсягу навантаження за нерозчиненими органічними сполуками, було досліджено залежність ефективності очищення води у біореакторі за БСК<sub>5</sub>, ХСК та завислими речовинами (рис. 15). Величину гідравлічного навантаження на споруду регулювали таким чином, щоб максимально скоротити час перебування води у споруді за умови недопущення інтенсивного виносу з біореактора завислих речовин. Встановлено, що конструктивні особливості біореактора та включення в його біоценоз молюсків дозволяють забезпечити стабільний режим роботи при значеннях гідравлічного навантаження в діапазоні 3-5 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·год).

Внаслідок заковтування молюсками детриту з поверхні «Вії» біоплівка швидко оновлюється, а укрупнені мінералізовані домішки осідають на дно. Збільшення загальної площі поверхні носія за рахунок встановлення додаткових модулів з волокнами дозволило утримувати у споруді більшу масу мікробіоти, здатної ефективно долучатись до процесів деструкції розчинених органічних сполук.

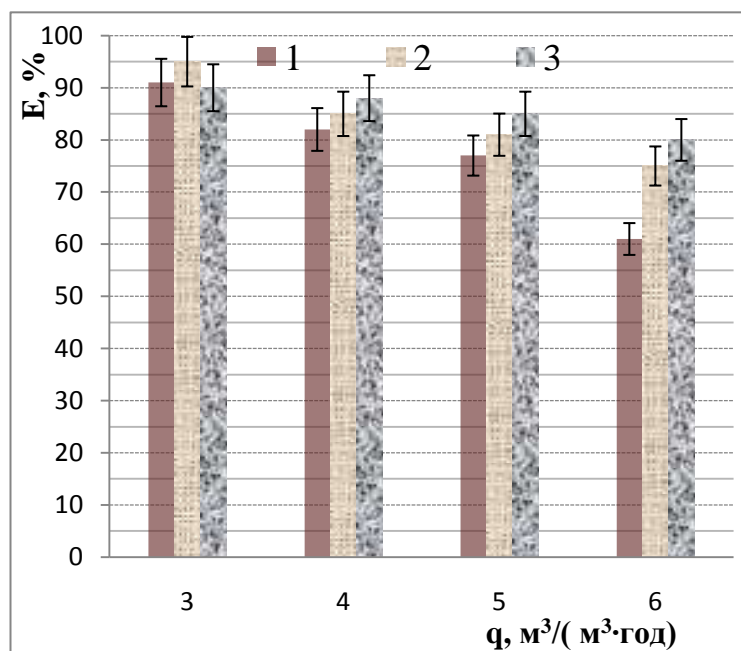


Рис. 15. Залежність ефективності очищення за показниками: 1 – ХСК; 2 – БСК<sub>5</sub>; 3 – ЗР від гідравлічного навантаження (q) на біореактор

молюсків, характеризуються більш швидкими темпами осідання у порівнянні з осадами, що утворюються при реалізації традиційної технології (рис. 17). При оптимальному температурному режимі фізи та катушки здатні за добу перетравлювати кількість детриту, що становить 25-40% від маси їх тіла. Тому, на кожний кілограм згодованого риbam корму, у біореакторі потрібно культивувати 550-800 г молюсків (фіз або катушок).

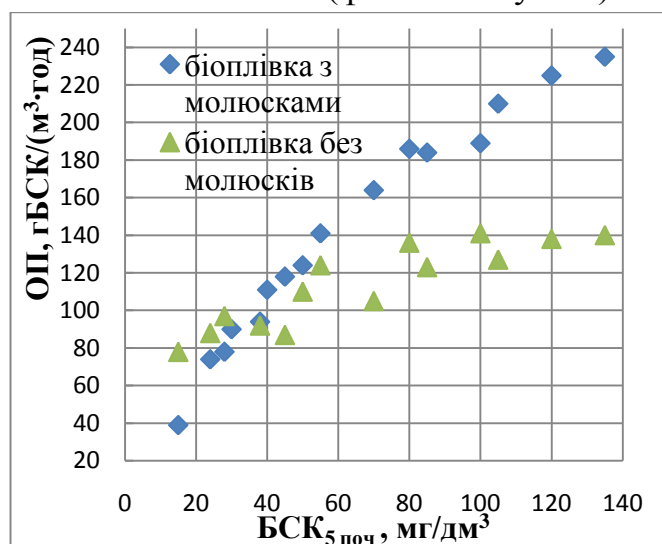


Рис. 16. Залежність окисної потужності (ОП) біореактора з волокнистим носієм від початкових значень БСК<sub>5</sub> поч

Встановлено залежність окисної потужності споруди від початкових значень БСК<sub>5</sub> забрудненої води (рис. 16). Доведено, що при подачі у біореактор з носієм типу «Вія» води із високим вмістом тонкодисперсних органічних сполук (які зумовлюють зростання значення БСК<sub>5</sub> з 25-55 до 80-120 мг/дм³) ефективність очищення за БСК<sub>5</sub> та ХСК не знизиться, а очисна потужність в межах даного діапазону навантаження на споруду пропорційно зростатиме. Виявлено, що утворені в біореакторі тверді відходи, завдяки метаболізму

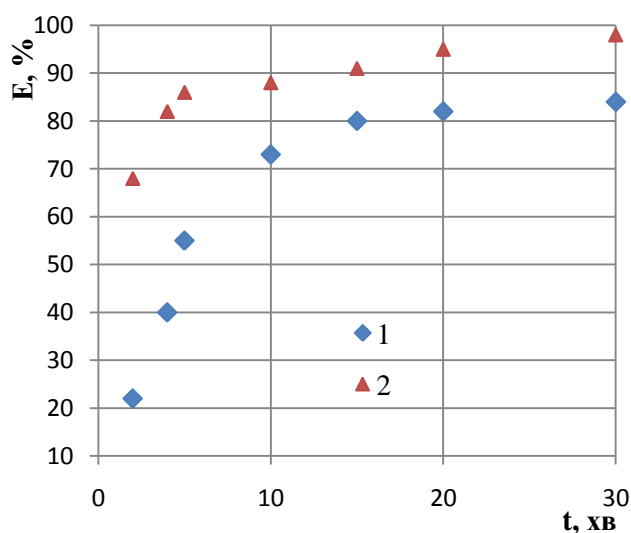


Рис. 17. Залежність ефективності відокремлення нерозчинених відходів (E) від тривалості процесу (t):

- 1 – осад, утворений при очищенні за традиційною технологією;
- 2 – осад після біореактора з молюсками

Для господарств, оборотна вода яких характеризується підвищеним вмістом тонкодисперсних органічних забруднень, величинами БСК<sub>5</sub> і ХСК більше, ніж 50 мг/дм<sup>3</sup> і 80 мг/дм<sup>3</sup>, відповідно, у схему очищення запропоновано включити біореактор другого ступеня. Основною задачею біореактора другого ступеня є доочищення оборотної води за ХСК та БСК<sub>повн</sub> до допустимих значень, видалення тонкодисперсних забруднень та додаткове регулювання чисельності мікробіоти. Також включення у схему очищення біореактора другого ступеня дозволяє збільшити коефіцієнт рециркуляції у господарстві, що є особливо актуальним при обмежених можливостях джерела водопостачання. Зростання ефекту очищення за БСК<sub>5</sub> внаслідок іммобілізації у біореакторі II ступеня водних олігохет (аулофорусів) представлено на рис. 18.

У процесі дослідження видалення сполук Нітрогену та Фосфору в фітореакторі (рис. 19) спостерігали незначний ефект очищення води за БСК<sub>5</sub> (з 50-60 мг/дм<sup>3</sup> до 45-55 мг/дм<sup>3</sup>). Таке явище можна пояснити проходженням процесу асиміляції рослинами окремих органічних сполук, принципову можливість якої обґрунтовано у роботах (Mkandawire, 2007; Pilon-Smits, 2005); окисненням органічних сполук мікробіотою, що міститься у товщі води фітореактора; або участю у процесах окиснення перифітону, розміщеного на кореневій системі та нижній частині фронди (пластинки) ряскових.

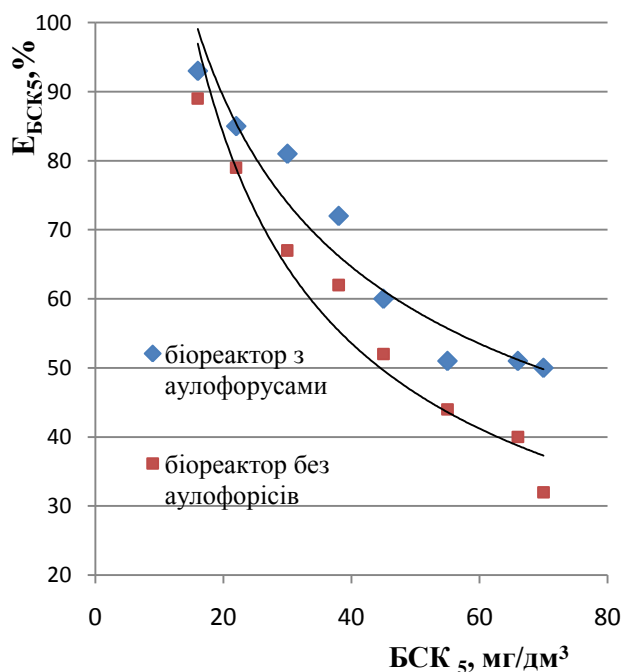


Рис. 18. Залежність ефективності очищення за БСК<sub>5</sub> ( $E_{\text{БСК}_5}$ ) у біореакторі з включенням до біоценозу аулофорусів від величини показника БСК<sub>5</sub> на вході

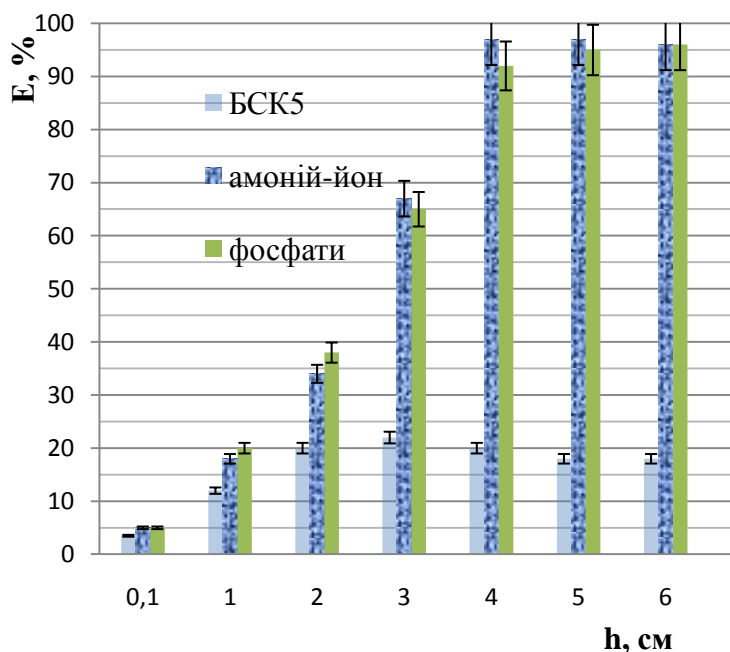


Рис. 19. Залежність ефективності очищення води ( $E$ ) за показниками БСК<sub>5</sub>, амонійним Нітрогеном та фосфатами від товщини шару ряски в фітореакторі ( $h$ )

Технологія багатостадійного біологічного очищення, що відповідає основним критеріям ІМТА, дозволяє здійснити конверсію й іншого цінного елементу кормів для риб – Фосфору, тоді як класична технологія нітри-денітрифікації характеризується вкрай низькою ефективністю видалення розчинених фосфатів та безповоротною втратою даного цінного макроелементу кормів у вигляді нерозчинених відходів. Балансова схема трансформації розчинених і нерозчинених сполук Фосфору (рис. 20) відображує ефективність його асиміляції окремими групами гідробіонтів і забезпечує можливість аналітичного прогнозування складу утворених відходів.

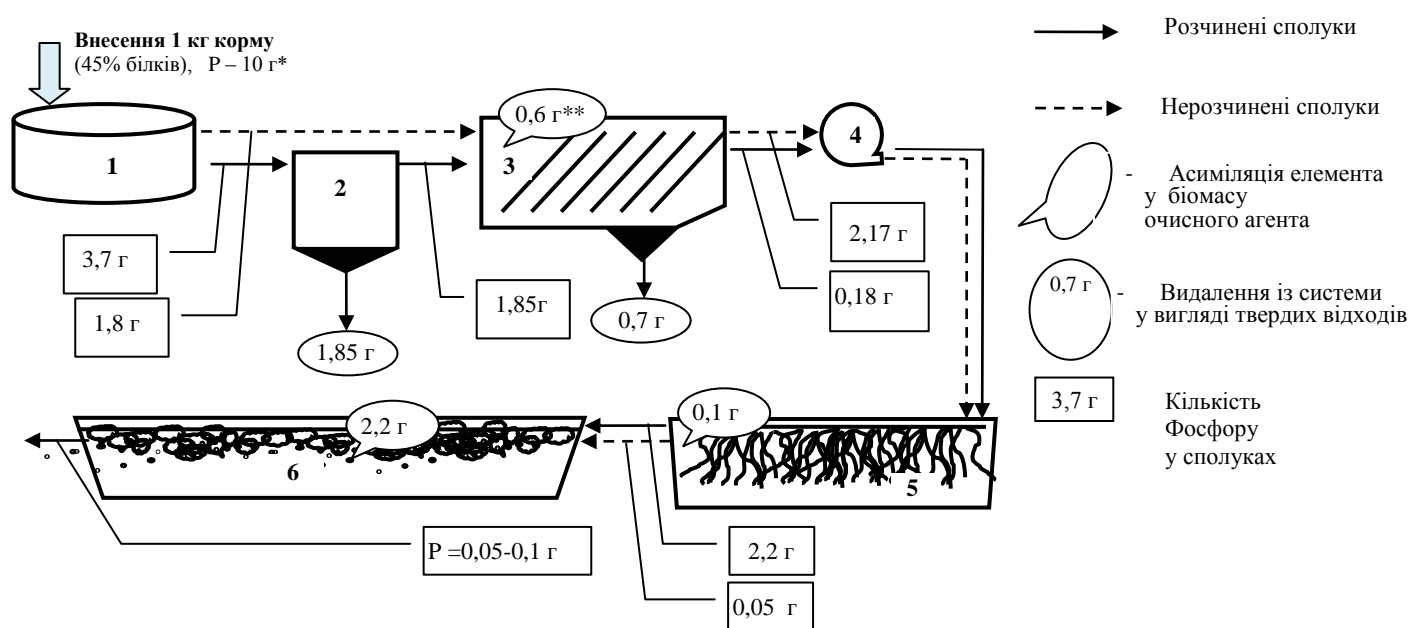


Рис. 20. Балансова схема трансформації сполук Фосфору:

1 – рибницькі басейни; 2 – сітчастий фільтр; 3 – біореактор з молюсками; 4 – насос;  
5 – біореактор з вищими ракоподібними; 6 – фітореактор з рясковими

Примітки: \*джерело – Biomar and the Environmental Protection Agency, Denmark

\*\* джерело – Crab R. et al., 2007

Розроблена схема очищення забезпечує конверсію більше, ніж 50% від загальної маси розчинених та нерозчинених сполук Фосфору з оборотної води. Відповідно, багатостадійна технологія біологічного очищення дозволяє знизити питомі витрати кормів на вирощування риби та зменшити кількість біогенних елементів, адже у навколишнє середовище Фосфор надходитиме переважно у складі нерозчинених відходів.

У таблиці 1 наведено раціональні величини технологічних параметрів біореакторів у складі технології багатостадійного біологічного очищення, визначені у процесі експериментальних досліджень та на основі аналітичних даних.



**Раціональні величини технологічних параметрів біореакторів для очищення  
оборотної води за розробленою технологією**

Технологічні параметри	Фітореактор	Біореактор з полицями	Біореактор з волокнистим носієм	
Вид носія	-	Ламельні блоки	Синтетичні волокна “ВІЯ”	
Основний очисний агент біореактора	Плаваючі водні рослини	Гетеротрофна мікробіота/ червоногі молюски	Гетеротрофна мікробіота	
			Червоногі молюски	Вищі ракоподібні, водні олігохети
Питома біомаса очисних агентів	4-6 кг/м <sup>2</sup>	$\frac{2-8 \text{ г/дм}^3}{1,5-2 \text{ кг/м}^3}$	$\frac{6-10 \text{ г/дм}^3}{1-1,5 \text{ кг/м}^3}$	$\frac{2-3 \text{ г/дм}^3}{0,2-0,5 \text{ кг/м}^3}$
Забруднення, що видаляються	$\text{NH}_4^+, \text{NO}_3^-, \text{PO}_4^{3-}$	ХСК, БСК, ЗР	ХСК, БСК, ЗР	
Очисна потужність	12-18 г $\text{NH}_4^+$ /(м <sup>2</sup> ·доб)	40-150 г БСК/(м <sup>3</sup> ·год)	50-220 г БСК/(м <sup>3</sup> ·год)	10-40 г БСК/(м <sup>3</sup> ·год)
Ефект очищення за БСК <sub>5</sub> , %	0-5	50-70	80-95	50-65
Ефект очищення за ЗР, %	-	75-85	85-90	60-70
Зольність осадів, %	-	45-60	45-60	65-70
Гідравлічне навантаження	$\frac{0,4-0,6 \text{ м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$	$\frac{5-6 \text{ м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{год}}$	2-5 $\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3 \cdot \text{год}}$	

У розділі 5 представлено модифікації розробленої технології біологічного очищення оборотної води для УЗВ, що враховують концентрації основних забруднень та вимоги вирощуваних риб до якості очищеної води.

Розроблену технологію впроваджено у проект реконструкції існуючих споруд УЗВ з вирощування сомових ТЗОВ «АКВА-АРТІС», що включають блок механічного очищення – тонкошаровий відстійник і біофільтр-нітрифікатор. Передбачено реконструкцію відстійника у біореактор з червононогими моллюсками, біофільтра із зрошуваного у затоплений і добудову над ним секцій фітореактора з плаваючими водними рослинами (рис. 21). У результаті реконструкцій кількість утворених твердих відходів знизилась у 2,5-3 рази; об'єм води, що використовується повторно, збільшився з 80-85% до 95% з одночасним покращенням її показників за вмістом фосфатів, нітратів, завислих речовин та БСК. Зниження питомої витрати води на одиницю вирощеної продукції дозволило підприємству запланувати збільшення виробничої потужності в межах наявного підземного джерела водопостачання та зменшити собівартість продукції. Обґрунтовано доцільність розділення потоків забрудненої води УЗВ для сомових – концентрована мулова суміш проходить окрему обробку в затопленому біофільтрі з водними олігохетами, а

освітлену воду подають у фітореактор. Аналогічна схема біологічного очищення оборотної води господарств з вирощування кларієвого сома розроблена для УЗВ, побудованого у фермерському господарстві ПАФ «Брошукова» плановою виробничою потужністю 45 т/рік.

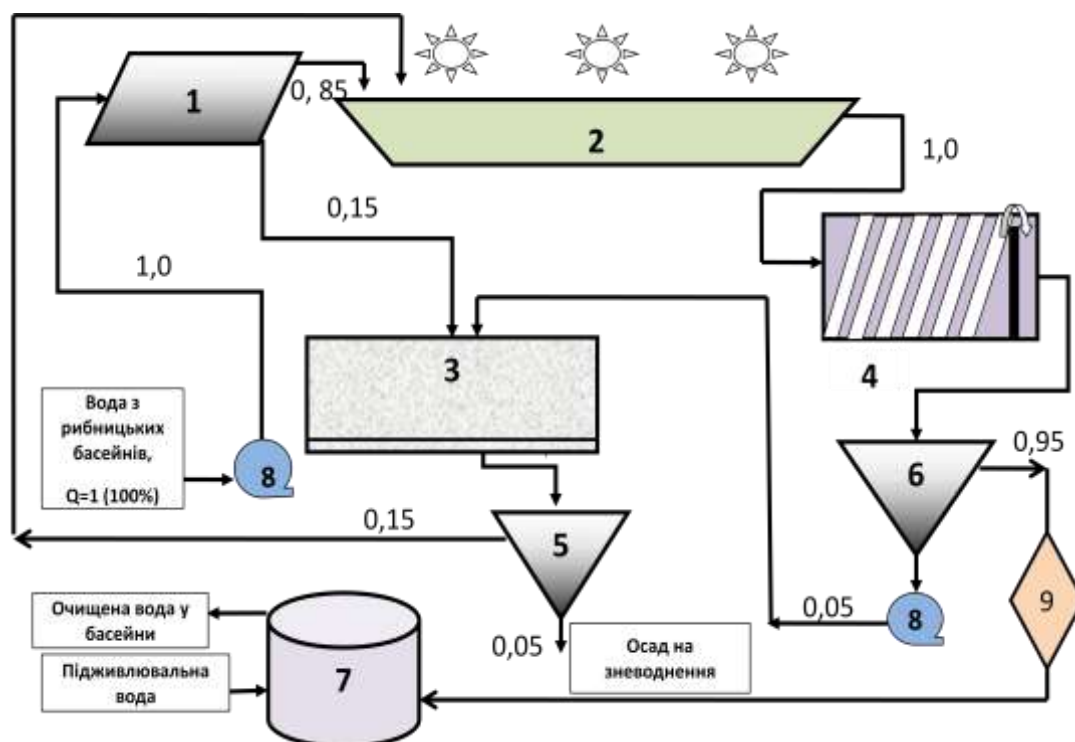


Рис. 21. Схема технології очищення оборотної води УЗВ для кларієвого сома:

1 – сітчастий фільтр; 2 – фітореактор; 3 – затоплений біофільтр;  
4 – біореактор з похилими полицями; 5, 6 – відстійник; 7 – блок терморегуляції та аерації; 8 – насос; 9 – споруди для знезараження оборотної води

Зміну показників основних забруднень води у процесі багатостадійного очищення представлено у таблиці 2.

Таблиця 2

Показники води на виході із споруд сомового УЗВ

Показник, од. вим.	Значення показників води на виході зі споруд				
	Басейни	Сітчастий фільтр	Фітореактор	Біореактор	Відстійник
ЗР, мг/дм <sup>3</sup>	250-350	80-120	70-120	50-60	15-20
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	25-65	25-65	20-55	3-8	3-8
ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	35-120	35-120	30-110	10-25	10-25
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	4-8	4-8	0,1-0,4	0,2-0,7	0,2-0,7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	4-15	4-15	1-5	1-5	2-10
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6-10	6-15	0-0,1	2-10	2-10



Запропонована схема технології очищення води УЗВ з вирощування осетрових, впроваджена у проекті будівництва комплексу УЗВ з вирощування осетрових у м. Снятин Івано-Франківської обл., передбачає очищення від органічних речовин у два етапи, причому амонійний Нітроген, виділений у біореакторі I ступеня, асимілюється разом з аналогічними катаболітами риб у фітореакторі (рис. 22). Біореактор II ступеня забезпечує доочищення за розчиненими та дрібнодисперсними органічними речовинами.

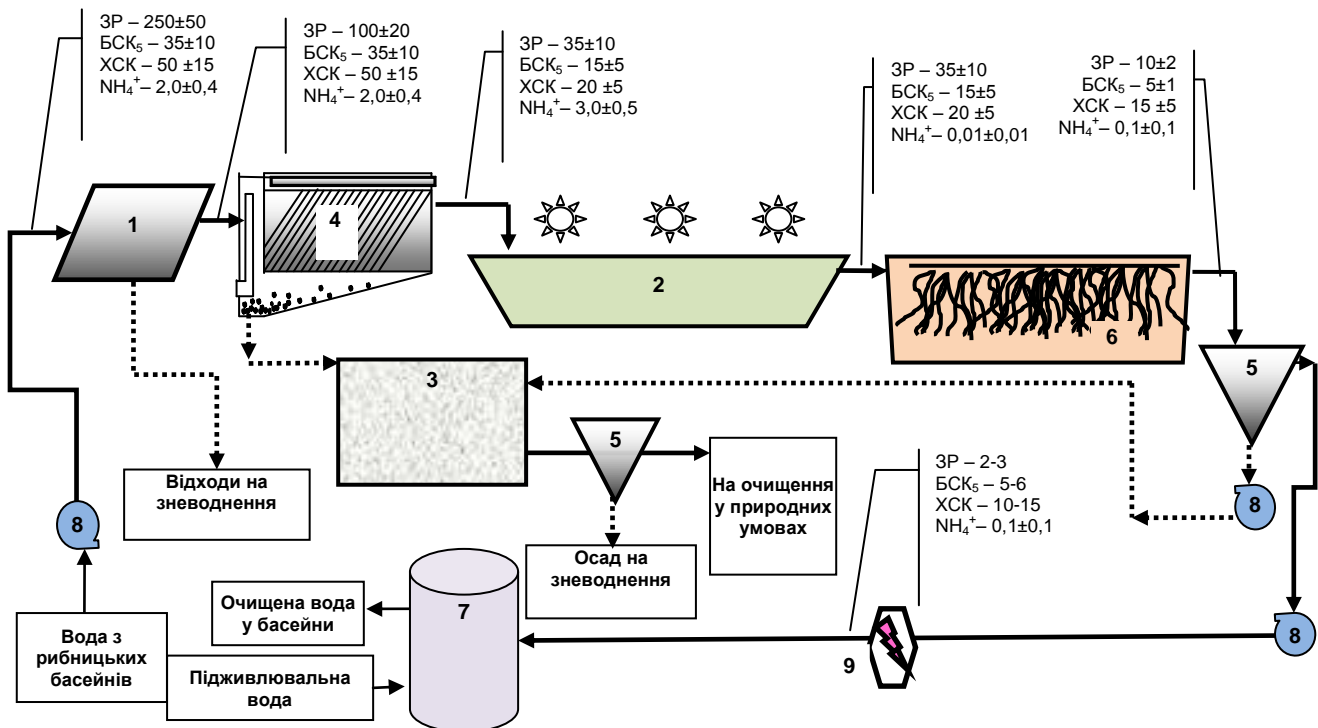


Рис. 22. Схема технології багатостадійного біологічного очищення оборотної води при вирощуванні осетрових в УЗВ:

1 – сітчастий фільтр; 2 – фітореактор; 3 – затоплений біофільтр; 4 – біореактор I ступеня; 5 – відстійник; 6 – біореактор II ступеня; 7 – блок терморегуляції та аерації; 8 – насос; 9 – ультрафіолетовий опромінювач

Примітка: значення концентрацій забруднень оборотної води наведено в мг/дм<sup>3</sup>.

Схема багатостадійного очищення оборотної води осетрових господарств малої потужності або при спеціалізації УЗВ на отриманні в якості товарної продукції ікри (рис. 23) відрізняється включенням фітореактора II ступеня, що дозволяє забезпечити глибоке видалення з води сполук Нітрогену та Фосфору навіть за помірного температурного режиму, який притаманний більшості осетрових господарств. Дана схема очищення впроваджена у фермерському господарстві «Надія» з проектною потужністю 4 т на рік. Для очищення оборотної води за розробленою технологічною схемою, у даному господарстві барабанний фільтр було замінено префільтром з проціджувальною поверхнею з латунного дроту

розмірами вічка 0,3 мм. Для накопичення та стабілізації утворених твердих відходів запроектовано муловий майданчик. У подальшому стабілізовані відходи передбачено використовувати в якості сільськогосподарських добрив під час вегетаційного періоду. В ролі біореактора першого ступеня влаштовано біореактор з волокнистим носієм типу «Вія», куди іммобілізовано черевоногих молюсків. Попри зростання витрат на освітлення, було досягнуто максимально ефективного використання наявних площ. Крім того, фітореактор II ступеня дозволив використовувати у процесах видалення амонійного Нітрогену чутливіші до забруднень види – ряску триборозенчасту, пістію.

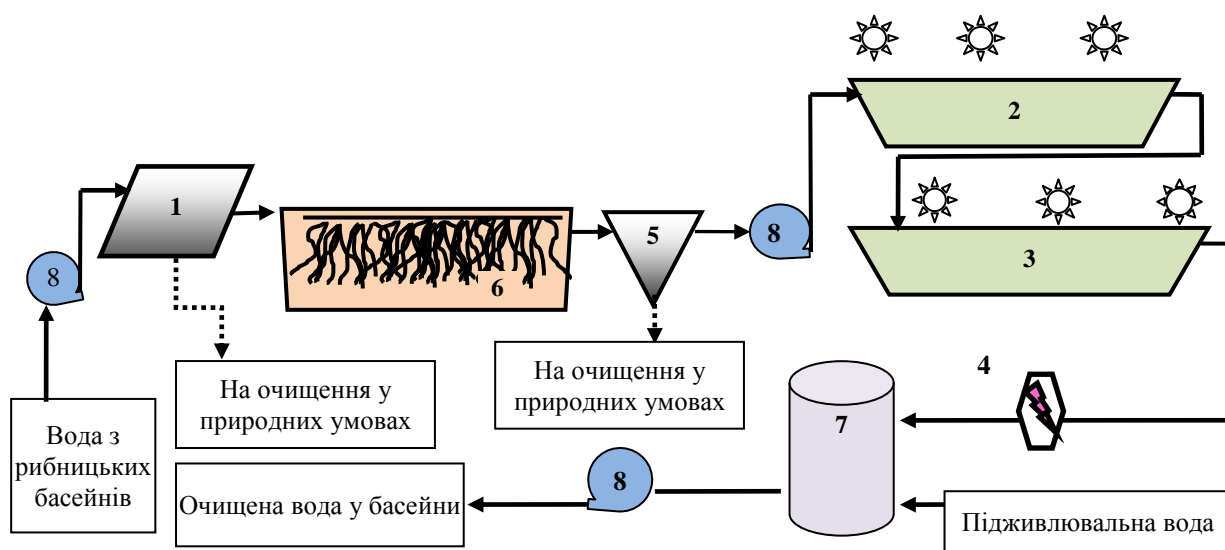


Рис. 23. Схема очищення оборотної води компактного осетрового господарства:

1 – сітчастий фільтр; 2, 3 – фітореактор; 4 – ультрафіолетовий опромінювач;

5 – відстійник; 6 – біореактор з волокнистим носієм;

7 – блок терморегуляції та аерації; 8 – насос

Зміну показників основних забруднень при очищення оборотної води за розробленою схемою представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

Ефективність очищення оборотної води компактних осетрових УЗВ

Показник, од. вим.	Значення показників води на виході зі споруд				
	Басейни	Сітчастий фільтр	Біореактор	Фітореактор I	Фітореактор II
ЗР, мг/дм <sup>3</sup>	130	80-100	20-40	20-30	15-20
БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	15-25	15-25	5-15	5-10	3-8
ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	25-55	40-70	20-55	15-40	10-25
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,25-0,5	-	0,4-0,8	0,1-0,4	0,03-0,01
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	20-35	-	25-40	10-30	8-17
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	2-7	-	4-10	1-3	0,1-5

Вперше запропоновано здійснювати подачу попередньо стабілізованої мулової суміші в інтегровану з УЗВ систему аквапоніки, що дозволило підвищити ефективність утилізації утворених відходів, та водночас забезпечити рослини макроелементами без ризиків отруєння риб реагентами і добривами для рослин, притаманних традиційним системам аквапоніки (рис. 24).

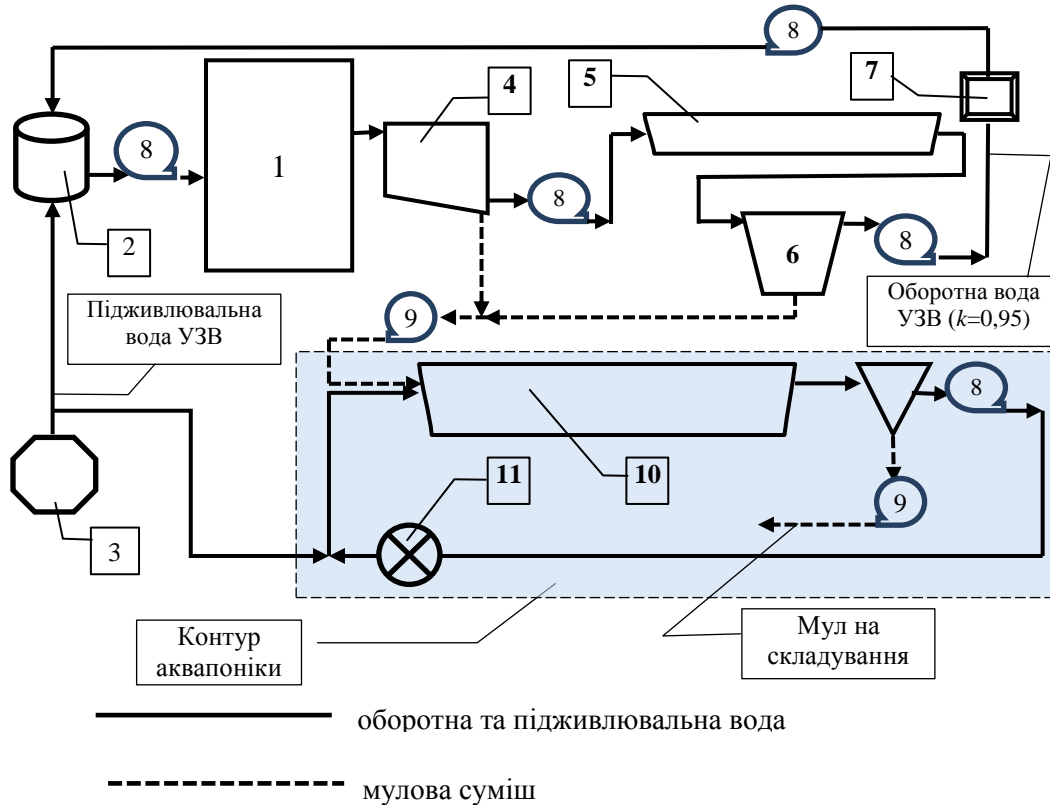


Рис. 24. Принципова схема інтегрованого в УЗВ комплексу аквапоніки:

- 1 – рибицькі басейни; 2 – блок терморегуляції та аерації; 3 – споруди очищення води з природного джерела; 4 – біореактор I ступеня; 5 – фітореактор з ряскою; 6 – біореактор II ступеня; 7 – споруди знезараження оборотної води; 8 – насос водного контуру; 9 – муловий насос; 10 – аквапонна система; 11 – блок дозування добрив та реагентів

Характерною особливістю схеми є відокремленість контуру УЗВ від системи аквапоніки, адже вода з мулом, що надходить в останню, не повертається у басейнове господарство. Відведена у вигляді мулової суміші вода компенсується за рахунок підживлювальної води з природного джерела водопостачання, обсяг якої для більшості УЗВ становить 5-15% від загальної витрати води у контурі. Залежно від об'єкта культивування в УЗВ та особливостей місцевого ринку система аквапоніки може передбачати вирощування різних видів рослин.

**Розділ 6** містить результати техніко-економічних розрахунків показників розробленої технології багатостадійного біологічного очищення та порівняння з традиційною технологією, що використовується при очищенні оборотної води УЗВ. Реалізація багатостадійної технології очищення оборотної води УЗВ

характеризується зниженням капіталовкладень на 25-50% (за рахунок економії на купівлю обладнання для попереднього механічного очищення, денітрифікаторів). Основними ж статтями, за якими досягається суттєва економічна перевага, є зниження витрат на комбікорми (за рахунок згодовування риbam біомаси очисних агентів), реагенти (метанол або замінники) та зниження амортизаційних відрахувань.

Річний економічний ефект від впровадження технології залежно від виробничої потужності УЗВ та об'єкта вирощування становить від 250 тис. грн. (для осетрового господарства потужністю 20 т/рік) до 880 тис. грн. (для сомового господарства потужністю 45 т/рік). Відповідно, відносна економічна ефективність, приведена до обсягів виробленої продукції в УЗВ залежно від об'єкта вирощування, згідно розрахунків становить 10-20 тис. грн. на 1 тону вирощеної риби на рік.

## ВИСНОВКИ

У роботі науково обґрунтовано, розроблено та впроваджено технологію багатостадійного біологічного очищення оборотної води з використанням гідробіонтів різних трофічних груп, яка вирішує важливу народногосподарську проблему очищення оборотної води рибницьких господарств індустріального типу для можливості її повторного використання.

1. На підставі аналізу джерел літератури, враховуючи результати роботи існуючих очисних споруд установок із замкнутим водопостачанням (УЗВ), визначено причини низької ефективності класичної технології очищення оборотної води індустріальних рибницьких господарств. Підтверджено, що якість рибницьких кормів та їх біохімічний склад безпосередньо впливають на кількість органічних забруднень оборотної води.

2. Сформовано і теоретично обґрунтовано концепцію багатостадійного біологічного очищення оборотної води з використанням інтегрованої мультитрофічної аквакультури, що дозволяє в процесі деструкції забруднень забезпечити ефективну конверсію незасвоєних рибами компонентів корму та їх розчинених метаболітів у біомасу очисних організмів, приріст яких використовується для підгодівлі культивованих риб.

3. Запропоновано використання для біологічного очищення водних рослин та безхребетних, які характеризуються високим біотрансформаційним потенціалом і мають кормову цінність для риб; встановлено умови їх культивування в очисних спорудах для найбільш ефективної деструкції забруднюючих речовин, визначено послідовність процесів їх трансформації у технології багатостадійного біологічного очищення оборотної води УЗВ.

4. На підставі проведених експериментальних досліджень визначено очисну потужність за амонійним Нітрогеном фітореактора з плаваючими водними рослинами, яка, залежно від гідравлічного навантаження, питомої біомаси на одиницю площі та режиму освітлення, становить  $8-14 \text{ гNH}_4^+ / (\text{м}^2 \cdot \text{доб})$ . Встановлено, що при інтенсивності освітлення в межах 4200-6600 Лк для забезпечення раціональної величини очисної потужності за сполуками Нітрогену тривалість періоду освітлення фітореактора має становити 10-14 годин на добу.

5. Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що при очищенні води від сполук Нітрогену у фітореакторі відбувається одночасне поглинання рослинами фосфатів. Доведено, що ефективність процесу залежить від співвідношення у воді сполук Нітрогену та Фосфору та потреб рослин, які використовують як очисні агенти.

6. Експериментально встановлено, що використання черевоногих молюсків у біореакторі з інертним носієм типу «Вія» або похилими пластиковими полицями забезпечує зниження приросту біоплівки та мінералізацію сорбованих на поверхні носія забруднень, внаслідок чого утворені відходи мають кращі седиментаційні властивості, зольність осадів підвищується до 45-60%, а їх об'єм зменшується у 2,5-3 рази. Встановлено, що при подачі оборотної води УЗВ з величиною БСК<sub>5</sub> в межах 25-120 мг/дм<sup>3</sup> окисна потужність становить від 80 до 220 г/(м<sup>3</sup>·доб), досягнуто ефект очищення за БСК<sub>5</sub> в межах 80-90%.

7. Обґрунтовано доцільність включення вищих ракоподібних та водних олігохет у ценоз біореакторів другого ступеня з метою зниження кількості утворених відходів та конверсії незасвоєних рибами компонентів корму. Завдяки включенню у технологію очищення оборотної води біореакторів другого ступеня досягнуто необхідний рівень очищення за показниками БСК<sub>5</sub> та ХСК, забезпечено зниження кількості утворених відходів та отримання додаткової біомаси очисних агентів, які використовують як кормові організми.

8. Розроблено конструкції біореакторів для культивування визначених груп очисних агентів з метою очищення оборотної води. Запропоновано методики розрахунків фітореактора з плаваючими водними рослинами, біореактора з похилими полицями та біореактора з волокнистим носієм типу «Вія» для очищення оборотної води. Методики використано при проектуванні споруд багатостадійного біологічного очищення оборотної води господарств з вирощування осетрових та кларієвого сома.

9. Розроблено технологію багатостадійного біологічного очищення оборотної води УЗВ для вирощування найбільш перспективних об'єктів індустріального рибництва, яка забезпечує у порівнянні з традиційною зниження витрат на очищення на 35-45%; забезпечення економії комбікормів на 10-20%; зменшення об'ємів утворених відходів у 2,5-3 рази з одночасним підвищенням їх зольності з 10-

12% до 45-60%. Технологію багатостадійного біологічного очищення оборотної води впроваджено у чотирьох рибницьких господарствах індустріального типу, що підтверджено актами впровадження у двох господарствах з вирощування осетрових та двох – з вирощування кларієвого сома. Основні технологічні та конструкторські рішення також впроваджено в проекті будівництва та реконструкції ОС м. Дубно та смт. Смига Рівненської обл., смт. Шацьк, баз відпочинку оз. Світязь і с. Світязь Волинської обл., що підтверджено актами впровадження.

10. Запропоновані технічні рішення щодо реконструкції існуючих споруд для очищення оборотної води УЗВ з метою реалізації нової багатостадійної технології на основі концепції ІМТА дозволяють підвищити ефективність очищення води за основними показниками ( $\text{ЗР}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{ХСК}$ ,  $\text{БСК}_5$ ), скоротити енерговитрати на відновлення якості води до нормативних вимог на 25-30% та забезпечити надійну роботу очисних споруд.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кононцев С. В. Екологічна біотехнологія очищення стічних вод та культивування кормових організмів: Монографія / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій, Ю. Р. Гроховська. – Рівне: НУВГП, 2011. – 151 с. *(Здобувачем запропоновано загальний підхід до створення нової біотехнології відновлення якості води).*

2. Кадастр іхтіофауни Рівненської області: Монографія / [Гроховська Ю. Р., Воловик Г. П., Кононцев С. В. та ін.]; за ред. Мошинського В. С., Гроховської Ю. Р. – Рівне : ТЗОВ «Дока центр», 2012. – 200 с. *(Здобувачу належить систематизація та аналіз звітних даних, визначення чинників, що впливають на поширення окремих представників іхтіофауни в регіоні).*

3. Кононцев С. В. Біотехнологія очищення води при вирощуванні кларієвого сома в УЗВ / Вода і водоочисні технології: Науково-технічні вісті. – № 3 (20). – 2016. – С. 57–64.

4. Гроховська Ю. Р. Оцінка якості води Чорного моря в районі м. Ялта / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // Вісник НУВГП. – 2007. – Вип. 3 (39). – С. 47–53. *(Здобувачем здійснено постановка завдань досліджень, аналіз відповідності якості води рибогосподарським вимогам).*

5. Кононцев С. В. Очищення води рибницьких господарств із замкнутим циклом водопостачання від сполук амонійного нітрогену / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій, Ю. Р. Гроховська // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук. – К.: КНУБА, 2016. – Вип. № 27. – С. 170–177. *(Здобувачем обґрунтовано переваги розробленого методу у порівнянні з традиційною технологією, сформульовано мету досліджень та загальні висновки).*

6. Саблій Л. А. Підвищення ефективності аерування мулової суміші в аеротенках шляхом використання низьконапірного аератора / Л. А. Саблій, С. В. Кононцев, М. С. Коренчук // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук. – техн. зб. – К.: КНУБА. – 2017. – Вип. № 28. – С. 290–295. *(Здобувачем обґрунтовано економічну доцільність використання низьконапірного аератора для обробки мулових сумішей та попередньої аерації концентрованих стічних вод перед подачею в аеробний біореактор).*

7. Кононцев С. В. Аналіз відповідності складу забруднень оборотної води УЗВ потребам водних рослин у макроелементах / С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська, Саблій Л. А., Козар М. Ю. // ВІСНИК НУВГП. – Випуск 4 (58). – 2017 р. – С. 68–76. *(Здобувачу належить розробка методики досліджень, формулювання ідеї про потребу у забезпеченні збалансованого живлення рослин для ефективного очищення води).*

8. Кононцев С. В. Реалізація методу біоконвеєра при очищенні оборотної води рибницьких господарств / С. В. Кононцев // ВІСНИК НУВГП. – 2017 р. – Випуск 4 (80). Серія: Технічні науки. – С. 28–35.

9. Саблій Л. А. Технологія очищення оборотної води УЗВ для вирощування осетрових / Л. А. Саблій, С. В. Кононцев, М. С. Коренчук // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 4. – С. 183–188. *(Здобувачем проведено експериментальні дослідження на дослідному господарстві, визначено основні показники забруднень, розроблено технологію очищення оборотної води).*

10. Кононцев С. В. Моделювання процесів видалення сполук нітрогену з оборотної води індустріальних рибницьких господарств / С. В. Кононцев // Математичне моделювання в економіці. – 2018 р. – № 1 – С. 93–102.

11. Гроховська Ю. Р. Фізіолого-біохімічні основи очищення оборотної води УЗВ від сполук нітрогену та фосфору / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2018. – Том 29 (68). – Ч. 3. – № 1. – С. 42–47. *(Здобувачем визначено основні складові забруднень оборотної води, що можуть бути трансформовані у біомасу кормових організмів, сформульовано завдання досліджень).*

12. Гроховська Ю. Р. Асиміляційний потенціал ряскових та перспективи його використання при очищенні оборотної води УЗВ / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // ВІСНИК НУВГП. – 2018. – Випуск № 1 (81), серія Технічні науки. – С. 47–53. *(Здобувачем проведено аналітичні розрахунки потенційної очисної потужності фітореактора з рясковими).*

13. Саблій Л. А. Аналіз ефективності застосування роторних аераторів при очищенні води у системах з оборотним водопостачанням / Л. А. Саблій, М. С. Коренчук, С. В. Кононцев // Вісник КНУТД. Серія «Технічні науки». – 2018. – № 2 (120). – С. 56–61. *(Здобувачем проведено теоретичне обґрунтування*

ефективності використання аераторів роторного типу в окремих вузлах схеми водопостачання та водоочищення УЗВ).

14. Кононцев С. В. Конверсія компонентів корму при вирощуванні риби в установках із замкнутим водопостачанням / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій, М. С. Коренчук // «Наукові горизонти», Вісник ЖНАЕУ. – 2018. – Випуск 4 (67). – С. 94–103. *(Здобувачем розроблено шляхи трансформації розчинених та нерозчинених забруднень оборотної води у біомасу очисних агентів).*

15. Саблій Л. А. Очищення оборотної води УЗВ у біореакторі з похилими полицями / Л. А. Саблій, С. В. Кононцев, М. С. Коренчук // Вісник інженерної академії України. – 2018. – № 1. – С. 156–162. *(Здобувачу належить розробка конструктивного рішення для модернізації існуючої споруди, визначення раціональних величин технологічних параметрів очищення оборотної води УЗВ).*

16. Кононцев С. В. Очищення оборотної води рибницьких господарств індустріального типу від сполук фосфору / С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська, Л. А. Саблій, М. Ю. Козар // Вісник інженерної академії України. – 2018. – № 2. – С. 160–164. *(Здобувачем здійснено формулювання основних завдань досліджень, аналіз трансформації сполук фосфору в процесі багатостадійного біологічного очищення).*

17. Кононцев С. В. Комплексне очищення оборотної води УЗВ з використанням інтегрованих систем аквапоніки / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій, Ю. Р. Гроховська, М. С. Коренчук // Вісник інженерної академії України. – 2018. – № 3. – С. 171–176. *(Здобувачу належить ідея подачі у систему аквапоніки стабілізованої мулової суміші, розрахунок балансу макро- та мікроелементів у замкнутому контурі).*

18. Саблій Л. А. Використання аераційної системи ежекторного типу для біологічного очищення стічних вод // Л. А. Саблій, О. М. Ободович, В. В. Сидоренко, С. В. Кононцев, М. С. Коренчук // Вода і водоочисні технології: Науково-технічні вісті. – 2018. – № 1 (22). – С. 50–58. *(Здобувачем проведено аналіз ефективності альтернативних систем аерації в очисних спорудах).*

19. Саблій Л. А. Дослідження ефективності видалення іонів феруму вищими водними рослинами / Л. А. Саблій, С. В. Кононцев, М. С. Коренчук, Д. С. Колтишева // Наукові праці ВНТУ. – 2018. – № 2. – 5 с. (Електронний науковий журнал) *(Здобувачем здійснено визначення умов проведення експерименту та обґрунтування раціональних величин параметрів процесу).*

20. Konontcev S. Treatment of recirculating water of industrial fish farms in phytoreactor with Lemnoideae / S. Konontcev, L. Sabliy, M. Kozar, N. Korenchuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – 5/10 (89). – P. 61–67. **(Індексується у базах BASE, Ulrich's Periodicals Directory, Cite Factor, Research Bid, Index Copernicus, РИНЦ, Polish Scholarly Bibliography, Scopus)** *(Здобувачу*



належить постановка завдань досліджень та проведення експериментальних досліджень).

21. Саблій Л. А. Реалізація концепції системи інтегрованої мультитрофічної аквакультури у прісноводних рибницьких господарствах з замкнутим водопостачанням / Л. А. Саблій, М. С. Коренчук, С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська / Вісник Хмельницького Національного Університету. Серія: Технічні науки. – 2017. – № 5. – С. 89–93. **(Індексується у базах Google Scholar, Index Copernicus, РИНЦ, Polish Scholarly Bibliography)** *(Здобувачем проведено теоретичний аналіз взаємодії окремих груп очисних агентів в межах біотехнології очищення води).*

22. Кононцев С.В. Використання черевоногих молюсків для мінералізації нерозчинених забруднень оборотної води УЗВ / С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська, Л. А. Саблій, М. С. Коренчук // Вісник Хмельницького Національного Університету. Серія: Технічні науки. – 2018. - № 1. – С. 193–198. **(Індексується у базах Google Scholar, Index Copernicus, РИНЦ, Polish Scholarly Bibliography)** *(Здобувачем обґрунтовано доцільність включення черевоногих молюсків у процеси мінералізації нерозчинених забруднень).*

23. Кононцев С. В. Адаптація ряскових (LEMNOIDEAE) до умов органічного забруднення води / С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська, Л. А. Саблій, М. С. Коренчук // Вісник Хмельницького Національного Університету. Серія: Технічні науки. – 2018. – № 2 (259). – С. 141–146. **(Індексується у базах Google Scholar, Index Copernicus, РИНЦ, Polish Scholarly Bibliography)** *(Здобувачем проведено аналітичні розрахунки, здійснено постановку експериментальних досліджень).*

24. Кононцев С. В. Ефективність видалення сполук Нітрогену рослинами в інтегрованій мультитрофічній аквакультурі / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій, М. Ю. Козар, Ю. Р. Гроховська // Науковий Вісник Будівництва. – ХНУБА. – 2018 – 91 (1). – С. 331–335. **(Індексується у базах International Innovative Journal Impact Factor, Google Scholar, Metadata from Crossref)** *(Здобувачу належить розробка теоретичних основ технології видалення біогенних елементів у системі мультитрофічної аквакультури, постановка та проведення експериментальних досліджень).*

25. Nitrogen removal from fish farms water by *Lemna minor* and *Wolffia arrhiza* / L. Sabliy, S. Konontsev, J. Grokhovska, M. Widomski and G. Lagod // Proceedings Society of Ecological Chemistry and Engineering (SEChE), Proceeding of ECOpole. – Opole (Poland), 2016. – Vol. 10. – No. 2. – P. 499–504. **(Іноземне видання)** *(Здобувачу належить проведення експериментальних досліджень, обробка та інтерпретація результатів).*

26. Патент України на корисну модель № 102108, МПК C02F 3/34. Спосіб біологічного очищення оборотних вод рибницьких господарств індустріального типу / Кононцев С. В., Саблій Л. А., Гроховська Ю. Р., Жукова В. С.: заявл. 22.05.15;

опубл. 12.10.15, Бюл. № 19. *(Здобувачем обґрунтовано доцільність поетапного видалення забруднень оборотної води рибницьких господарств у системі послідовно з'єднаних споруд біологічного очищення).*

27. Патент України на корисну модель № 105121, МПК C02F 3/34. Біореактор для очищення оборотних вод рибницьких господарств від біогенних елементів / Кононцев С. В.; Саблій Л. А.; Гроховська Ю. Р.; Жукова В. С.: заявл. 22.07.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. № 5. *(Здобувачу належить ідея конструкції біореактора та розробка його складових елементів).*

28. Патент України на корисну модель № 118778, МПК C02F 3/32, C02F 3/34. Пристрій для біологічного очищення стічних вод / Саблій Л. А.; Кононцев С. В., Коренчук М. С.: заявл. 13.03.17; опубл. 28.08.17, Бюл. № 16. *(Здобувачу належить ідея розділення конструкції біореактора на дві зони за допомогою похилої перегородки).*

29. Патент України на корисну модель № 120662, МПК C02F 3/34, A01K 61/10. Спосіб трансформації нерозчинених органічних забруднень в умовах рециркуляційних аквакультурних систем при вирощуванні риби / Пилипенко Ю. В., Гроховська Ю. Р., Кононцев С. В., Ковальов Ю. І.: заявл. 06.06.17; опубл. 10.11.17, Бюл. № 21. *(Здобувачу належить визначення умов культивування молюсків у споруді та запропоновано технічні рішення для ефективного розподілу води).*

30. Кононцев С. В. Использование макрофитов для биофильтрации воды в установках замкнутого водоснабжения / С. В. Кононцев, Л. А. Саблий, Ю. Р. Гроховская // Рыбоводство и рыбное хозяйство: изд. ООО Издательский дом «Панорама» (Москва). – 2017. – Вып. 4. – С. 56–60. *(Здобуваємо сформульовано завдання роботи, розроблено теоретичні основи культивування макрофітів у рибницьких системах).*

31. Кононцев С. В. Использование макрофитов для очистки воды УЗВ от соединений азота / С. В. Кононцев, Л. А. Саблий, Ю. Р. Гроховская // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. [Под общ.ред. В. Ю. Агееца]. – Вып. 31. – Минск. – 2015. – С. 85–90. *(Здобуваємо проведено аналіз ефективності очищення від сполук Нітрогену та Фосфору різними групами макрофітів).*

32. Konontcev S., Sablij L., Pylypenko Yu., Grokhovska Y., Kovalev Yu. Purification of RAS circulating water from Phosphorous compounds / Acta Biol. Univ. Daugavp. – 2017. – 17(2). – P. 193–197. *(Здобувачу належить формування ідеї використання вищих водних рослин для асиміляції Фосфору з оборотної води УЗВ, проведення досліджень, аналіз та узагальнення результатів).*

33. Кононцев С. В. Порівняльний аналіз методів знезараження води рибницьких господарств індустріального типу / С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська // Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки. – Рівне: НУВГП. – 2010. – Вип. 2 (50). –

С. 58–63. *(Здобувачу належить узагальнення, систематизація та аналіз даних літературних джерел і постановка завдань досліджень).*

34. Кононцев С. В. Хвороби декоративних риб та шляхи їх поширення / С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська // Таврійський науковий вісник: Збірн. наук. праць ХДАУ. – Вип. 76. – Херсон, 2011. – С. 240–246. *(Здобувачем сформульовано основні завдання досліджень, визначено фактори, що впливають на вибір методів знезараження).*

35. Кононцев С. В. Забезпечення енергоефективної терморегуляції рибницьких господарств індустріального типу / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій // Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання та водовідведення. Зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП. – 2015. – С. 177–180. *(Здобувачем проведено теоретичне обґрунтування ефективності застосування комбінованої схеми терморегуляції, визначено технічні умови для її впровадження).*

36. Кононцев С. В. Використання гідробіонтів різних трофічних груп у процесах очищення забрудненої води УЗВ / С. В. Кононцев // Вісник НУВГП. – 2016 р. – Випуск 3 (75). – С. 97–103.

37. Кононцев С. Біотехнологія культивування кормових організмів у системі відновлення якості води рибницьких комплексів індустріального типу / С. Кононцев, Л. Саблій, Ю. Гроховська // Біотехнологія: досвід, традиції та інновації: збірник наукових праць. – Київ: НУХТ. – 2016. – С. 84–91. *(Здобувачу належить постановка завдань досліджень та розробка теоретичних основ культивування очисних агентів у біореакторах).*

38. Кононцев С. В. Принцип біоконвеєра в очищенні води рибницьких господарств індустріального типу / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій, Ю. Р. Гроховська // Збірник статей за матеріалами Міжнародного Конгресу та Технічної виставки «ЕТЕВК-2015» Екологія, Технологія, Економіка, Водопостачання, Каналізація, (Іллічівськ, 8-12 червня 2015 року). – С. 194–197. *(Здобувачем теоретично обґрунтовано доцільність залучення до процесів видалення забруднень оборотної води визначених видів гідробіонтів).*

39. Гроховська Ю. Р. Применение биологических методов очистки воды в рециркуляционных системах выращивания рыбы / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // 5-й Міжнародний екологічний форум "Чисте місто. Чиста ріка. Чиста планета". – Херсон: 21-22 листопада 2013 р. – С. 210–214. *(Здобувачем обґрунтовано переваги використання біотехнологій для відновлення якості води).*

40. Саблій Л. А. Біологічні аспекти очищення оборотної води рибницьких господарств із замкнутим циклом водозабезпечення / Л. А. Саблій, С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська // «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (8-11 жовтня 2014 р., Київ): матер. II Міжнар. науково-практичної конференції – К.: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

2014. – С. 166–169. *(Здобувачу належить узагальнення теоретичних даних, визначення пріоритетів в розвитку сучасних біотехнологій відновлення води, формулювання висновків).*

41. Саблій Л. А. Використання вищих водних рослин для очищення води у індустриальному рибництві / Л. А. Саблій, С. В. Кононцев, Ю. Р. Гроховська / Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти (20-30 жовтня 2015 р., м. Київ): матер. IV Міжнар. наук.-практ. конф. – К.: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – 2015. – С. 180–181. *(Здобувачу належить формулювання основних напрямків досліджень, розробка теоретичних засад залучення рослин до процесів очищення оборотної води).*

42. Гроховська Ю. Р. Экобиотехнологии десапробизации: теоретические и практические аспекты / Ю. Р. Гроховская, Л. А. Саблій, С. В. Кононцев // Ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий и промышленных предприятий: материалы II междунар. науч.-техн. интернет-конф. (20-27 февраля 2016 г.). – Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова. – С. 107–109. *(Здобувачу належить розробка технічних умов для реалізації розробленої технології в очисних спорудах комунальних підприємств).*

43. Саблій Л. А. Сучасні тенденції у біотехнології очищення оборотної води рибницьких індустриальних господарств / Л. А. Саблій, С. В. Кононцев // Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Водопостачання та водовідведення. Проектування, будова, експлуатація, моніторинг». 4-6 листопада 2015 р. – Національний університет «Львівська політехніка». – Львів: ЗУКЦ – С. 125–127. *(Здобувачу належить аналіз джерел літератури, формулювання основної ідеї роботи, прогнозування ефективності реалізації інноваційних технологій при очищенні оборотної води).*

44. Кононцев С. В. Біологічна технологія мінералізації осадів рибницьких господарств індустриального типу / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій // Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (12-13 травня 2016 р., м. Київ). – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 97–98. *(Здобувачу належить аналіз шляхів утилізації утворених відходів, запропоновано ефективні способи для підвищення рівня їх мінералізації та зменшення обсягів).*

45. Кононцев С. В. Екологічна технологія відновлення якості води індустриальних рибницьких господарств. Тези Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції», 27 жовтня 2016 року. – Житомир: ЖДТУ. – 2016. – С. 63.

46. Кононцев С. В. Ефективність видалення сполук Нітрогену у фітореакторі зі рясковими / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій / Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти (26-28 жовтня 2016 р.): матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції – К.: Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», 2016. – С. 106–108. *(Здобувачем проведено експериментальну частину роботи, обробку даних та їх інтерпретацію).*

47. Кононцев С. В. Аналіз умов формування та складу забруднень технологічної води УЗВ / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій // Матеріали науково-практичної конференції Меліорація та водовикористання – сталий розвиток водогосподарського комплексу країни. (м. Мелітополь, Мелітопольський інститут екології та соціальних технологій ВМУРоЛ «Україна»). – С. 51–53. *(Здобувачем проведено аналіз основних чинників, що впливають на кількісні та якісні показники забруднень оборотної води).*

48. Саблій Л. А. Використання гідромеханічної системи аерації для біологічного очищення стічних вод / Л. А. Саблій, О. М. Ободович, В. В. Сидоренко, С. В. Кононцев, М. С. Коренчук / Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти (26-27 жовтня 2016 р., Київ): матер. V Міжнар. наук.-практ. конф. – К.: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», 2017. – С. 187–188. *(Здобувачем проведено аналіз впливу конструкції аератора на мікробіоту очисних споруд).*

49. Pylypenko Yu. Experience of using Gastropods for the transformation of organic pollutants of recirculating aquaculture systems. / Pylypenko Yu., Grokhovska Y., Konontsev S, Kovalev Yu. // 2nd International Aquaculture Conference Recirculating Aquaculture Systems (RAS): Life Science and Technologies (2017.05.04). – Daugavpils University Academic Press “Saule” Daugavpils. – 2017. – P. 43–44. *(Здобувачем проведено аналіз потенціалу молюсків в ролі деструкторів нерозчинених забруднень).*

50. Антропогенний вплив на екологічний стан і структуру біоти водних екосистем басейну Прип'яті / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» до 60-річчя від дня народження д.с.-г.н., професора Пилипенка Ю. В. – Херсон: Олді-плюс – 2018. – С. 390–393. *(Здобувачем розроблено найбільш дієві заходи із зниження антропогенного навантаження на природні водойми).*

51. Гроховская Ю. Р. Ресурсы водной флоры Ровенской области Украины / Ю. Р. Гроховская, С. В. Кононцев // Agrobiodiversity for improving nutrition, health and life quality.– Slovak University of Agriculture. Nitra. – 2015. – Part I. – P. 201–204. *(Здобувачем узагальнено та систематизовано теоретичні дані, сформульовано висновки до роботи).*

52. Гроховська Ю. Р. Фітоаккумуляція макро- і мікроелементів – перспективи покращення якості поверхневих вод / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // Вода: проблеми та шляхи вирішення. Збірник статей науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Рівне, 6-8 липня 2016 року. – Житомир: Вид-во ЖДУ

ім. І. Франка – С. 41–47. *(Здобувачу належить узагальнення теоретичних даних, формулювання висновків до роботи).*

53. Гроховська Ю. Р. Раритетні види та угруповання вищих водних і прибережно-водних рослин Рівненської області / Ю. Р. Гроховська, В. О. Володимирець, С. В. Кононцев // Вісник НУВГП. – 2013. – Вип. 2 (62). – С. 182–197. *(Здобувачу належить обґрунтування використання вибору окремих видів макрофітів у процесах очищення води рибницьких господарств та аналіз їх адаптації у штучно створених умовах).*

54. Гроховська Ю. Р. Рідкісні види круглоротих і риб Рівненщини / Ю. Р. Гроховська, В. О. Мосніцький, С. В. Кононцев // Вісник НУВГП. – 2011. – Вип. 3 (55). – С. 46–52. *(Здобувачем проведено аналіз можливості відтворення в системах з оборотним водопостачанням цінних видів риб).*

55. Гроховська Ю. Р. Екологічний стан та гідробіологічна характеристика річки Корчик / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев, С. О. Андрійчук // Вісник НУВГП. – Вип. 4 (52). – Рівне, 2010. – С. 94–101. *(Здобувачем проведено аналітичний огляд відповідності основних фізико-хімічних показників річки рибогосподарським вимогам).*

56. Гроховська Ю. Р. Аналіз гідроекологічних процесів у малій річці / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // Таврійський науковий вісник: Збірн. наук. праць ХДАУ. – Вип. 48. – Херсон, 2007. – С. 121–129. *(Здобувачу належить розробка рекомендацій щодо зниження негативних наслідків скиду недостатньо очищених промислових стічних вод).*

57. Гроховська Ю. Р. Аналіз відповідності гідрохімічних показників водних об'єктів Рівненщини рибогосподарським вимогам / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // Вісник НУВГП. – 2012. – Вип. 2 (58). – С. 114–121. *(Здобувачем сформульовано завдання досліджень, розроблено методику та визначено основні критерії для проведення аналізу).*

58. Гроховська Ю. Р. Екологічна різноманітність іхтіофауни річки Стир / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев, А. В. Кульпач // Вісник НУВГП. – 2014. – Вип. 1 (65). – С. 9–21. *(Здобувачем проаналізовано зв'язок видового різноманіття іхтіофауни з якістю води на окремих ділянках досліджуваної екосистеми).*

59. Гроховська Ю. Р. Аналіз впливу гідрохімічного режиму на видову різноманітність іхтіофауни річок Рівненщини / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев, А. В. Хорхолук // Вісник НУВГП. – 2013. – Вип. 3 (63). – С. 61–74. *(Здобувачем визначено основні напрямки та методику досліджень, здійснено систематичний опис досліджуваної іхтіофауни).*

60. Гроховська Ю. Р. Загальна характеристика іхтіофауни Рівненської області / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев, Г. П. Воловик // Шляхи збереження і відновлення рибництва та водних екосистем у Поліському регіоні: матеріали Всеукр. наукової

конф., 24-26 жовт. 2011р.: Збірник наукових праць. – Рівне, 2011. – С. 53–61. *(Здобувачем досліджено різноманітність іхтіофауни на ділянках водойм, забруднених недостатньо очищеними стоками населених пунктів та промислових підприємств).*

61. Гроховська Ю. Р. Систематична структура і ресурсний потенціал водної флори Стир-Горинської частини басейну Прип'яті / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // Актуальні проблеми дослідження довкілля (за матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, присвяченої 150-річчю з дня народження академіка Г. М. Висоцького, 20-23 травня 2015 р., м. Суми). – Т. 1. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2015. – С. 45–49. *(Здобувачем проведено оцінку ресурсного потенціалу, сформульовано висновки та пропозиції виробництву).*

62. Гроховська Ю. Р. Еколого-географічний огляд іхтіофауни Рівненської області / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // VIII Міжнародна іхтіологічна науково-практична конференція «Сучасні проблеми теоретичної і практичної іхтіології» (Херсон, 17-19 вересня 2015 року). – С. 45–49. *(Здобувачем визначено перспективи культивування зникаючих та промислово цінних видів в умовах УЗВ).*

63. Гроховська Ю. Р. Збереження екосистеми річки Случ як оселища раритетних гідробіонтів і туристичної перлини Рівненщини / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев // Збірник тез I Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку сільського та екологічного туризму в Україні» (Березне - Рівне). – 2016. – С. 115–116. *(Здобувачем проведено огляд та систематизацію звітних даних, розроблено заходи для підвищення ефективності видалення біогенних елементів).*

64. Ботаніка з основами гідроботаніки: Навчальний посібник / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев. – Рівне: НУВГП, 2010. – 341 с. *(Здобувачем написано 1, 4 та 6 розділи).*

65. Гідроботаніка: Навчальний посібник / Гроховська Ю. Р., Ходосовцев О. Є., Пилипенко Ю. В., Кононцев С. В. – Херсон: Олді-Плюс, 2013. – 376 с. *(Здобувачем написано 4 розділ та підрозділ, присвячений декоративним водним рослинам).*

66. Біологічний моніторинг водного середовища: Навчальний посібник / Ю. Р. Гроховська, С. В. Кононцев, Т. М. Колесник. – Рівне: НУВГП, 2010. – 341 с. *(Здобувачем в співавторстві написано розділи «Токсичне забруднення та його наслідки для водних екосистем» та «Місце біотестування в системі біологічного моніторингу»).*

67. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці: Підручник для студ. спеціальності “Біотехнології та біоінженерія”, спеціалізації «Екологічна біотехнологія та біоенергетика» / Л. А. Саблій, О. М. Бунчак, В. С. Жукова, С. В. Кононцев; Під ред. Л. А. Саблій. – 2-е вид., перероб. і доп. – Рівне: НУВГП, 2018. – 376 с. *(Здобувачем написано розділ «Споруди й обладнання для очищення стічних вод з використанням біофільтрів»).*

## АНОТАЦІЯ

**Кононцев С. В. Багатостадійне біологічне очищення оборотної води індустриальних рибницьких господарств. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.21 – технологія водоочищення. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2019.

Систематизовано дані щодо застосування технології нітри-денітрифікації при очищенні оборотної води УЗВ та визначено основні причини низької ефективності видалення розчинених сполук Нітрогену. Відповідно до принципу біоконвеєра та концепції інтегрованої мультитрофічної аквакультури обґрунтовано використання в процесах очищення води гідробіонтів різних трофічних груп у ролі очисних агентів.

Досліджено вплив інтенсивності та тривалості освітлення фітореактора з рясковими на ефективність асиміляції рослинами біогенних елементів, визначено раціональні технологічні параметри процесу. Обґрунтовано використання червононогих молюсків для деструкції нерозчинених органічних забруднень, що дозволяє покращити їх седиментаційні властивості, знизити обсяги відходів у 2,5-3 рази з одночасним підвищенням рівня їх мінералізації з 10-12% до 45-60%. Встановлено, що включення червононогих молюсків у біореактор з волокнистим носієм «Вія» забезпечує окисну потужність за БСК<sub>5</sub> в межах 80-220 г/(м<sup>3</sup>·доб) при ефекті очищення 80-90%.

Ключові слова: біологічна очистка, оборотна вода, УЗВ, видалення Нітрогену та Фосфору, інтегрована мультитрофічна аквакультура

## АННОТАЦИЯ

**Кононцев С. В. Многостадийная биологическая очистка оборотной воды промышленных рыбоводческих хозяйств. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.17.21 – технология водоочистки. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2019.

Систематизированы данные об использовании технологии нитри-денитрификации при очистке оборотной воды УЗВ, определены основные причины низкой эффективности удаления растворённых соединений азота. В соответствии с принципом биоконвеера и концепцией интегрированной мультитрофической аквакультуры обосновано использование в процессах очистки воды гидробионтов различных трофических групп.

Исследовано влияние интенсивности и длительности освещения фитореактора с рясковыми на эффективность ассимиляции растениями биогенных элементов,



определены рациональные величины технологических параметров процесса. Обосновано использование брюхоногих моллюсков для деструкции нерастворённых органических загрязнений, что позволяет улучшить седиментационные свойства образовавшихся отходов, снизить их количество в 2,5-3 раза с одновременным повышением их минерализации с 10-12% до 45-60%. Установлено, что включение брюхоногих моллюсков в биореактор с волокнистым носителем «Вия» обеспечивает окислительную мощность по БПК<sub>5</sub> в пределах 80-220 г/(м<sup>3</sup>·сут) при эффекте очистки 80-90%.

Ключевые слова: биологическая очистка, оборотная вода, УЗВ, удаление азота и фосфора, интегрированная мультитрофическая аквакультура

### SUMMARY

**Konontsev S. V. Multistage biological treatment of recirculating water of industrial fish farms. – The manuscript.**

The dissertation for obtaining degree of a Doctor of Technical Sciences for the Specialty 05.17.21 – Water treatment technology. – National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2019.

Data on nitrification-denitrification technology, which was used in the recycled water treatment of RAS, were systematized; the main reasons for the low removal efficiency of dissolved nitrogen compounds were identified. The dependence of undissolved impurities amount in the water on the quantity and quality of supplied mixed feed was established. The efficiency of mechanical purification facilities for the preliminary removal of undissolved contaminants was analyzed; the connection with purification capacity of nitrification facilities was found.

The technology of multistage biological treatment of RAS recirculating water was developed based on progressive approaches to the processes of treatment of domestic wastewater and restoration of water quality in fish farming, the method of bioconveyer principle and the concept of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA). Thus, in the process of RAS water treatment most of the typical contaminants were transformed into biomass of fodder organisms that are involved in the restoration of the conditions of contaminated water.

The use of hydrobionts from different trophic groups in the water purification processes was substantiated in accordance with the bio-conveyer principle and the integrated multi-trophic aquaculture concept. Schemes for transformation of nitrogen and phosphorus-containing pollutants into the purification agents' biomass during the process of multistage biological treatment of recycled water were developed.

Biotechnological expediency in separating processes for the treatment of recycling water from ammonium nitrogen and organic contaminants was substantiated. It was substantiated theoretically and proved experimentally that vascular aquatic plants have

high assimilating potential on the nutrient elements. The species that adapt better to contaminated water and are able to remove nitrogen compounds intensively were identified. In the process of experimental research, the rational parameters of the process of removal of ammonium nitrogen in phytoreactor with duckweed were determined. A technique for calculating the structure is proposed and recommendations for starting and operating the phytoactor are developed. The purification power for the ammonium nitrogen of phytoreactor with floating aquatic plants was determined, which, depending on the hydraulic load, the specific biomass per unit area and the lighting regime, is 8-14 mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>/(m<sup>3</sup>·per day). The influence of illumination intensity and duration on biogenic elements assimilation efficiency by plants in the phytoreactor with duckweeds as well as rational process parameters were determined.

Use of gastropods for undissolved contaminants destruction was substantiated; which allows to improve the sedimentary qualities, reducing wastes 2.5-3 times with simultaneous increase of mineralization rate from 10-12% to 45-60%. It was showed, that insertion of gastropods species into the bioreactor with a fibrous carrier "Viya" has provided the oxidation capacity for BOD<sub>5</sub> in the range of 80-220 g/(m<sup>3</sup>·day) with a purification effect of 80-90%.

Designs of bioreactors that are adapted for the cultivation of certain groups of purification agents were developed. Purification schemes that provide reuse of water at 95% and above were developed in accordance with the technological features of the main objects of industrial fish farming and the conditions for the formation of pollution of the recirculating water from RAS.

Schemes for treatment of recycling water from aquaculture systems for growing catfish, cichlids, salmon and sturgeon were developed. The effectiveness of using the developed treatment technology of recirculating water in the cultivation of the decorative hydrobionts, as well as the endangered and valuable species of ichthyofauna for the purpose of their further introduction into natural water bodies was justified. The economic efficiency of implementation of the developed technology for multistage biological treatment was calculated.

The developed technology of multi-stage biological treatment was implemented in the projects of reconstruction and construction of RAS treatment facilities for the purpose of growth of these industrial fish farming objects. Some technological solutions were realized in the design of sewage treatment facilities of the municipal sewage of the settlement and the recreation centre.

Key words: biological water treatment, recirculating water, RAS, treatment of Nitrogen and Phosphorus, integrated multi-trophic aquaculture

Підписано до друку 02.05.2019 р. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Папір друкарський № 1. Гарнітура Times.  
Друк різнографічний. Ум.-друк. арк. 1,9.  
Тираж 100 прим. Зам. № 5317.

---

*Видавець і виготовлювач*  
*Редакційно-видавничий відділ Національного університету*  
*водного господарства та природокористування,*  
*33028, м. Рівне, вул. Соборна, 11.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного*  
*реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів*  
*видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*